

# Science & Technology Trends

# 科学技術動向

レポート・トピックス タイトルをクリックすると 各項目にジャンプします

8

2010  
No.113



## レポート

**p2,10** ICT から見たスマートグリッドの可能性

**p3,25** 平成 22 年版科学技術白書の主なポイント

## トピックス

### ライフサイエンス分野

**p4** 米国の農業継続性に関わる  
遺伝子組換え作物のインパクト

### ナノテク・材料分野

**p6** 渦状スピン構造体（スキルミオン  
結晶）の直接観察に成功

### 社会基盤分野

**p8** CO<sub>2</sub> 排出低減効果の高い  
ハイブリッド型建設機械

### 情報通信分野

**p5** IMEC による新たな 2 つの  
オープンイノベーション型 R&D

### ナノテク・材料分野

**p7** 正極にカーボンナノチューブを  
用いた高出力リチウムイオン電池

### その他の分野

**p9** 「2010 年米国競争力再認可法案」  
の立法化への期待

## ICT から見たスマートグリッドの可能性

電力網に ICT (Information and Communication Technology : 情報通信技術) を活用し、信頼性の向上、コストの削減、環境負荷の低減を実現する次世代の電力供給システムをスマートグリッドと呼ぶことが多い。しかし、新たな社会・経済の基盤として、ICT 産業の次の成長の領域としてスマートグリッドを位置付けることにこそ、より大きな重要性があると思われる。

世界的に広まる低炭素社会の実現の動きから、再生可能エネルギーの導入と、個人生活・企業運営・地域社会など社会のあらゆる領域における省エネルギー化が必要とされており、この流れがスマートグリッドの研究開発と事業化を世界的に加速させている。ここにおいて、スマートグリッドに関して、現在のインターネットを規模の上で何倍も上回る通信ネットワークの出現が起こることも、今後の社会の技術・産業に多大なインパクトを与えるであることを忘れてはならない。

米国においては、ICT 産業の実力企業がこぞってこの領域の技術開発、ビジネスに参入して来ており、米国の経済界はスマートグリッドに関する分野を ICT 産業の次の重要な市場と見ていると思われる。また、米国の連邦政府も総額 45 億 US\$ の投資・標準化の推進・法的整備を積極的に行い、経済界の新しい動きを後押しし、官民一体となった戦略的動きが見られる。新たなベンチャー企業の活動なども活発化している。

一方、日本においてはスマートコミュニティを実現しようという議論はあるものの、研究開発投資は、太陽光発電など再生可能エネルギーや蓄電池の技術開発に関心が集中し、スマートグリッドに係る ICT の研究開発・事業化の動きが活発化・具体化していない。技術は、全体的な構想の中でしっかりと定義され、開発されてこそ価値を高めるのであって、この構想の現実世界における実現手段が ICT である。日本においては、今後、再生可能エネルギーの技術が発達し、その技術要素は国際競争力をもつかもしいないが、あくまで他の上位システムに組み込まれる「部品」として輸出される可能性が高い。

さらに、スマートグリッドにより出現する新たなネットワークにより、「モノのインターネット (Internet of Things)」の世界が、家電・電気自動車なども含んだより広い範囲に拡大される可能性について、認識を新たにする必要がある。デジタルインフラを実際の世界に密着させ、効率よく情報を入手・分析しアクションをとることが「社会・経済を動かす」ということになるという、「情報化」に対する全く新しい認識がそこにあり、ここにおいて ICT の新たな発展の可能性が期待される。

## 平成 22 年版科学技術白書の主なポイント

2010 年 6 月 15 日、「平成 22 年版科学技術白書（平成 21 年度科学技術の振興に関する年次報告）」が閣議決定され、国会に報告された。科学技術白書は、科学技術基本法に基づく法定白書で、例年、2 部構成をとっている。第 1 部は毎年、焦点をあてるテーマを設定して作成され、第 2 部は前年度に各府省が講じた科学技術に関する施策を取りまとめている。

平成 22 年版の第 1 部は、「価値創造人材が拓く新たなフロンティア～日本再出発のための科学・技術の在り方～」をテーマにしている。「価値創造人材」とは、研究者・技術者のみならず、大学、研究機関、民間企業、行政組織等におけるマネジメント人材、知財関係人材、産学官連携人材や、人材を育成する理数教員など、新たな価値の創出に欠かせない多様な人材を指す。

我が国において、イノベーションを創出し新たな価値を創造するには、多様な人材一人一人による今まで以上の創造性・生産性の向上が求められる。国際競争力や国民生活の質の維持向上のためには、地球温暖化問題など低炭素型社会の課題解決に貢献する科学・技術の推進、基礎科学力の強化、研究者・技術者にとどまらず幅広い科学・技術活動を担う「価値創造人材」の育成・確保が不可欠である。また、産学官連携によるイノベーション創出の場の形成、政策過程の透明性や国民参画の促進等の社会や国民と科学・技術との関係性の向上が重要である。

近年、世界的に、国の経済成長や国民生活の豊かさの確保において、科学・技術が果たす役割は増している。今後、世界の科学・技術政策は、科学・技術・イノベーション政策となり、新たな枠組みの下で新展開を見せると考えられる。



科学技術白書

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/hpaa201001/1294965.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa201001/1294965.htm)

米国科学アカデミーの National Research Council は 2010 年 4 月、これまでの 14 年間の米国における遺伝子組換え作物のインパクトとして、使用実績と現状を分析した報告書を出版した。報告書では 4 つの重要課題として「除草剤耐性雑草の出現」の問題、「水の汚染」に関する影響、「環境・経済・社会」への影響について、正確に解析するべきであると提言している。遺伝子組換え作物を、人類の抱える環境問題などの解決手段として捉え、食物以外の「社会公共の道具」としての可能性にも言及している。

## トピックス / 米国の農業継続性に関わる遺伝子組換え作物のインパクト

米国科学アカデミーの National Research Council (NRC) は、2010 年 4 月、これまでの 14 年間の米国における遺伝子組換え作物のインパクトとして、使用実績と現状を分析して 1 冊の報告書として出版した<sup>1, 2)</sup>。これまでも遺伝子組換え作物に関する分析はあったが、いずれも断片的で、このように総合的な評価を公式に報告したものはなかった。この中では、米国の農業が持続的に発展するために求められている遺伝子組換え作物について特に重要な課題を 4 つ挙げている。

1 つ目の課題は、「除草剤耐性雑草の出現」の問題である。目下の遺伝子組換え作物の多くは、グリフォサートという除草剤に耐性であるが、長期使用によりグリフォサート耐性の雑草が出現してしまう。結果として、より強力な除草剤を使うことになる。単一の組換え作物を植え単一の除草剤を撒くのではなく、除草剤の種類や撒き方を工夫したりするなど、多様な除草作業を試みることで、除草剤耐性の雑草の出現を最小限に食い止める必要があると指摘している。

2 つ目は「水の汚染」に関する影響である。通常の除草剤を使用する農業は、水の汚染の最大の原因となっている。しかし、遺伝子組換え作物と有機物投入耕うん法 (Conversion Tillage) を組み合わせれば、肥料による水汚染を最小限に食い止めることができると考えられ、遺伝子組換え作物の最大かつ唯一の利点であると評価している。

3 つ目は「環境・経済・社会」への影響である。遺伝子組換え作物が害虫に強いこと、種苗産業の統合、トウモロコシ・大豆・綿などへの遺伝子組換えが進んできたことなどによって、米国社会が遺伝子組換え作物受け入れへと動いてきた。一方、畜産家や組換え作物拒否農家への経済的な影響についてはまだほとんど調査されていない。例えば、遺伝子組換え作物で家畜を育てる畜産家への経済的影響、生産・流通・加工に

かかるコストの影響、などである。今後さらに遺伝子組換え技術が多くの作物に展開されることを想定し、あらゆる農業に与える影響を理解しておくことは重要である。遺伝子組換え技術は米国農業の環境・経済・社会が継続していくためにこそ用いられるべきであると述べている。

4 つ目は「社会公共の道具」としての遺伝子組換え作物の作出技術の研究開発についてである。現在用いられている遺伝子組換え作物は、専ら害虫対策を念頭に作られている。害虫問題は減り、経済的にも環境的にも農業に貢献している。一方で、より多様な目的を持った遺伝子組換え作物を作成することも可能である。例えば、農薬使用で起きた水汚染を低減する植物、窒素源を固定化し農薬汚染を低減させる植物、健康を促進する栄養源を多く含む植物などが考えられる。このような遺伝子組換え作物の作出技術は、農家のためだけでなく「社会公共の道具」という考え方でもできる。しかし、企業にとってインセンティブが無いため、今のところ「社会公共の道具」のための遺伝子組換え作物の作出技術への研究開発投資は行われていない。本報告書では、人類や環境保全に役立つ特殊な遺伝子組換え作物の開発と商品化研究を、規制の下で官民両部門の協働で行う必要があると提言されている。

この報告書の意義のひとつは、遺伝子組換え作物の、環境・経済・社会へ与える影響を正確に解析するべきであると提言している点である。もうひとつの大きな意義は、食物以外の「社会公共の道具」としての可能性にも言及している点である。遺伝子組換え作物を、人類の抱える環境問題などの解決手段として捉えており、また、食物以外でもイノベーションを起こす可能性のある有望な領域と捉えている。

(専門家ネットワーク 都河龍一郎氏の投稿による)

### 参 考

- 1) The Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States, National Research Council, The National Academies Press
- 2) The Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States (Free Summary), National Research Council, <http://www.nap.edu/catalog/12804.html>



2010年6月、IMECから2つのオープンイノベーション型R&Dの発表が行われた。1つ目は、インフラストラクチャの強化で、300mmウエハーでの製造需要量増加への対応と将来の450mmウエハー対応への準備として、クリーンルームのスペースを拡張した。2つ目は、Intel社とのExaScience Labの共同設置で、現在の最高性能スーパーコンピュータの約1,000倍の性能となるExascaleコンピューティングへの研究を目的に、Intel社とベルギーの5大学とのコラボレーションを橋渡しする。IMECは、現在、世界62カ国、600社以上の企業等とパートナーシップを結び研究開発を進めて、80%の外部資金を集める非営利組織として注目されている。

## トピックス 2 IMECによる新たな2つのオープンイノベーション型R&D

ベルギーに本拠を置くIMEC (Interuniversity Microelectronics Center)は、平成21年度版科学技術白書でもその冒頭に「基礎研究段階など外部機関との情報共有や協働が可能な研究開発段階において、多数の大学や企業等が協働し、研究開発の相乗効果を上げている」<sup>1)</sup>と評価されている。オープンイノベーションを実践するR&D組織として、その動きは世界中から注目されている。2010年6月に、IMECは、今後のグローバル連携を一層推進するための2つの動きを発表した。

1つ目は、インフラストラクチャの強化である。半導体の研究開発では、LSIの単価低減の戦略として半導体製造プロセスの微細化とともに、LSIを形成するウエハーの大口径化を追求してきた歴史があり、現在の中心は300mm口径ウエハー（以下、単に○○mmウエハーと呼ぶ）である。今回、IMECは、300mmウエハー対応のクリーンルームを拡張（最終的に現状の2倍にする計画で、今回はその一部を拡張）し、300mmウエハーでの製造需要量の増加への対応とともに、450mmウエハー対応への準備を開始した<sup>2)</sup>。450mmウエハー化は、半導体業界の次世代のターゲットのひとつであるが、製造ラインの一新が伴い、莫大な投資が必要となる。単独でこの費用を賄える企業も未だ存在していない。450mmウエハー対応のクリーンルームへの準備は、IMECが継続的な先端技術追求に向けて、新世代技術への取り組みを一早く表明したものと言える。

2つ目は、IMEC敷地内におけるIntel社との「Flanders ExaScience Lab」（以下、単にExaScience Labと略す）の共同設置である。ここでは、現在の最高性能のスーパーコンピュータの約1,000倍の性能となるExascaleコンピューティングへ向けた研究を目的として

いる。ExaScience Labは、Intel社とベルギーの5大学（ルーヴァン・カトリック大学、ゲント大学、ブリュッセル自由大学、アントワープ大学、ハッセルト大学）との共同研究をIMECが橋渡しする形態をとっており、正にIMECの名前が示すInteruniversityの実践であると言える。Exascaleコンピューティングの実現には電力管理、並列ソフトウェア、信頼性、インターコネクト、メモリー、マイクロプロセッサ、パッケージング・熱管理など様々な課題があり、その対策として多様な知見を結集したグローバル連携が極めて重要と考えられる。ExaScience Labでは、主にソフトウェア面を対象に、Intel社ベースの将来のExascaleスーパーコンピュータ上で動作するアプリケーション開発を行う。当初は、宇宙天気シミュレーションと予測の研究が行われる予定である<sup>3, 4)</sup>。

IMECは、1984年にベルギーのフランドルス州政府によって設立された非営利組織である。IMECの主な研究活動は、その名前が示すように、大学における基礎研究と産業界の技術開発の橋渡しを行うものである。IMECの戦略は、常にその時点での最先端のインフラストラクチャを継続的に確保して研究開発環境を整えることで、世界中の企業、研究者からの注目を惹き付けている。また、その運営資金獲得も独特である。2010年の予算（約280Mユーロ）の内訳は、フランドルス州政府から45Mユーロ、オランダ政府から6Mユーロで残りの約80%を産業界等から得ている。グローバル連携は今までも大規模に展開されており、現在、世界62カ国、600社以上の企業等とパートナーシップを結んでいる。

今回の2件の発表は、2010年6月に開催されたIMEC主催のIMEC Technology Forumにおいて発表されたものである。

### 参 考

- 1) 平成21年度版科学技術白書
- 2) [http://www2.imec.be/be\\_en/press/imec-news/imecopeningcr.html](http://www2.imec.be/be_en/press/imec-news/imecopeningcr.html)
- 3) <http://www.intel.com/pressroom/archive/releases/20100608corp.htm>
- 4) [http://www2.imec.be/be\\_en/press/imec-news/flandersexasciencelab.html](http://www2.imec.be/be_en/press/imec-news/flandersexasciencelab.html)

$\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$  中でスピンの渦状に配列してその渦が格子を組む可能性があることが理論的に指摘され、実験的にも確実視されていた。今回、十倉好紀教授とウ・シュウチン研究員らのグループは、物質中の詳細な磁場分布を観測できるローレンツ型電子顕微鏡を用いた写真撮影により、渦状スピン構造体スキルミオン結晶の直接観測に世界で初めて成功し、この特異な現象の詳細を明らかにした。この成果は、スピントロニクス材料のみならず素粒子のスキルミオン状態のさらなる研究を加速する可能性もある。

### トピックス 3 渦状スピン構造体 (スキルミオン結晶) の直接観察に成功

$\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$  は、温度や磁場によってスピン配列が変化して特異な磁性を示し、スピントロニクス用途に期待される材料である。最近の理論的研究からは、この物質でスピンの渦状に配列してその渦が結晶 (スキルミオン結晶) をつくる可能性があることが指摘され、素粒子の特殊な偏極状態であるスキルミオンとの理論的類似性があるために注目を集めていた。最近の中性子散乱の実験から、この物質でスキルミオン結晶を作ることは確実視されていたが、実際にその状態を直接観測することには成功していなかった。

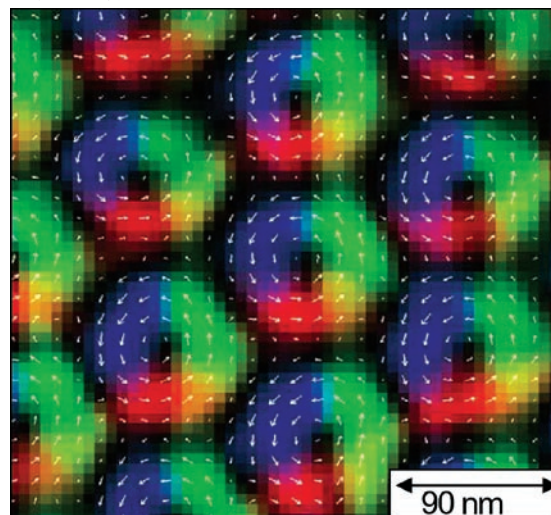
今回、十倉好紀教授とウ・シュウチン研究員らのグループ<sup>注)</sup>は、物質中の詳細な磁場分布を観測できるローレンツ型電子顕微鏡を使って、この渦状スピン構造体スキルミオン結晶の直接観測に世界で初めて成功し<sup>1)</sup>、その成果は nature 誌に掲載された<sup>2)</sup>。

厚さ 20nm の  $\text{Fe}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Si}$  試料を用いてスキルミオン結晶を実際に撮影した一例が図表 1 である。図表中の白い矢印は、スピンの方向を示し、渦中心部では、外磁場の方向に依存して紙面上向きまたは下向きとなり、シミュレーション結果とも良く一致する。また、この結晶は、渦を中心として 6 回対称を持つ 2 次元結晶をつくることも確かめられた。

この試料で、温度 25K で磁場を 0G (ガウス) から 800G までの 5 段階に設定して撮影した写真が、図表 2 の上段の a から e の 5 枚である。らせん磁性は縞状パターン (図表 2a) として、スピン渦の結晶は点パターン (図表 2c) として観測され、強磁性の場合はスピンの全てが同じ方向を向くのでパターンは観測されない (図表 2e)。この様な観測を行い、渦状スピン構造体スキルミオン結晶が存在する温度・磁場領域が初めて明確に特定された (図表 2 下図)。

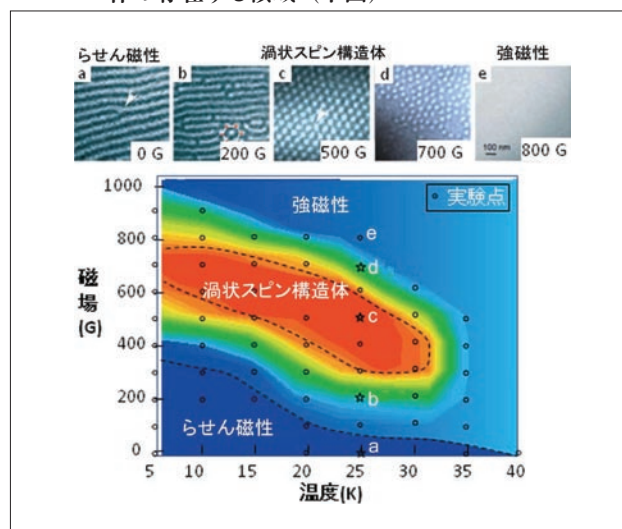
今回の実験は、渦状スピン構造体の直接観測に加え、その存在条件をも明らかにした意義は大きく、スピントロニクス材料のみならず素粒子のスキルミオン状態のさらなる研究を加速する可能性もある。

図表 1 渦状スピン構造体の電子顕微鏡写真



出典：参考文献<sup>1)</sup>

図表 2 各磁場での観測結果 (a ~ e)、と渦状スピン構造体の存在する領域 (下図)



出典：参考文献<sup>1)</sup>

注：この研究は、(独)科学技術振興機構、(独)物質・材料研究機構、東京大学、(独)理化学研究所の4カ所においてなされた。

#### 参 考

- 1) (独)科学技術振興機構プレスリリース(2010年6月15日) : <http://www.jst.go.jp/pr/announce/20100617/index.html>  
(独)物質・材料研究機構プレスリリース(2010年6月15日) : <http://www.nims.go.jp/news/press/2010/06/p201006170.html>
- 2) nature 2010年6月17日号 p.901-904



2010年6月、米国マサチューセッツ工科大学の研究グループは、カーボンナノチューブ積層膜を正極材料に用いた、高出力のリチウムイオン電池の開発を発表した。独自に高密度積層方法を開発して、低抵抗かつ密着性の高い積層膜を作製し、一方、負極としてはチタン酸リチウムを用いてリチウムイオン電池を試作したところ、市販のリチウムイオン電池と比較して出力密度が約10倍に向上した。今回開発された電池の構成では、さらなる特性向上の可能性がある、動力用電池のほか、極薄でフレキシブルな携帯端末機器の電池も期待できる。

## トピックス4 正極にカーボンナノチューブを用いた高出力リチウムイオン電池

リチウムイオン電池は、二酸化炭素排出量の低減に大きな効果がある電気自動車のほか、携帯機器で用いられている<sup>1)</sup>。動力用電源として用いるために、高出力密度で、かつ、高エネルギー密度が要求される。

2010年6月、米国マサチューセッツ工科大学の研究グループは、独自に開発した積層方法による高密度カーボンナノチューブ(CNT)積層膜を正極としたリチウムイオン電池で、市販の電池と比較して、出力密度が約10倍向上したと発表した<sup>2)</sup>。

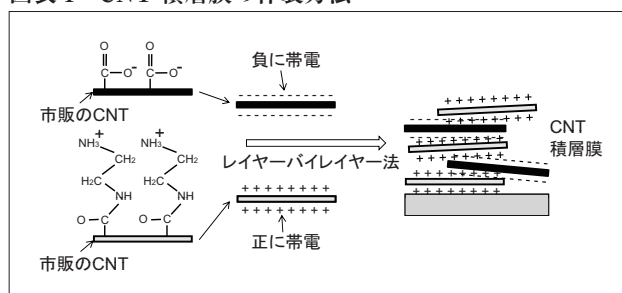
同研究グループでは、CNTを電池に適用するため、液相のレイヤーバイレイヤー(LBL)法でCNTの高密度積層方法を開発した<sup>3)</sup>。まず、市販の多層CNTの表面を、カルボキシル基(-COOH)あるいはアミノ基(-NH<sub>2</sub>)で化学修飾した。カルボキシル基は負に、アミノ基は正に、それぞれ帯電している。次に、それぞれのCNTを超純水に均一に分散した液体に、基板を交互に浸漬するサイクルを繰り返し、基板上の膜厚方向に帯電によって結合したCNT積層膜を形成した(図表1)。続いて、真空中で150℃、水素中で300℃の熱処理を施すことで、膜密度を向上させ、低抵抗かつ密着性の高いCNT積層膜を作製した。

200サイクル浸漬して作製した約3μm厚のCNT積層膜を正極、リチウムを負極とした正極特性評価用デバイスを試作したところ、出力密度100kW/kg、エネルギー密度約200Wh/kg、数千サイクルを超える安定性を示した。また、負極としてチタン酸リチウム(LTO)を用いた実用構成に近い電池の構成では、市販のリチウムイオン電池との比較で、出力密度が約10倍に向上した(図表2)。研究グループでは、性能向上は、高密度CNT積層膜の多孔質構造に加え、CNTに表面修飾した官能基が、電極表面の酸化還元反応に寄与してい

ると考えている。

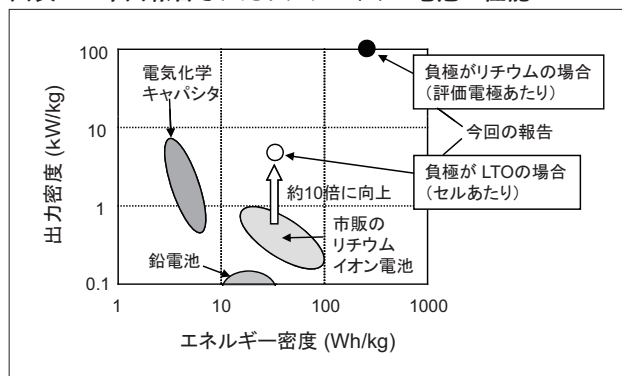
今回開発された正極は、CNT積層厚みが、わずか数μmで市販の電池の正極材料の10分の1以下と薄く、かつ、レイヤー間の密着性が高く安定しているため、極薄でフレキシブルな携帯端末機器用の電池としての応用も期待される。同研究グループでは、このほか簡便なスプレー法による正極作製方法も開発している。CNT層の厚膜化と大面積化および負極材料の最適化により、さらなる特性向上の可能性がある。

図表1 CNT積層膜の作製方法



参考文献<sup>3)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 今回報告されたリチウムイオン電池の性能



科学技術動向研究センターにて作成

### 参 考

- 1) 河本洋、「自動車用高出力・大容量リチウムイオン電池材料の研究開発動向」、科学技術動向、2010年1月号、p.19
- 2) S. W. Lee et al., "High-power lithium batteries from functionalized carbon-nanotube electrodes", Nature Nanotechnology, 5, 531(2010)
- 3) S. W. Lee et al., "Layer-by-Layer Assembly of All Carbon Nanotube Ultrathin Films for Electrochemical Applications", J. Am. Chem. Soc., 131, 671(2009)

建設機械における低炭素化に向けて、エンジンと電動機の2つの原動機により作動するハイブリッド型油圧ショベルの開発が進められている。我が国において、建設機械から排出されるCO<sub>2</sub>は、2002年時点で年間約1,111万トンと総排出量の約1%と推定され、そのうちの約半分は油圧ショベルによる。ハイブリッド型油圧ショベルでは、回生エネルギーなどを蓄電池に充電し、土砂掘削などの高負荷時に、充電された電力で駆動する発電電動機がエンジンをアシストすることにより、エンジンの小型化・低燃費化が実現した。従来比25～40%のCO<sub>2</sub>排出量を削減し、低炭素型建設機械の第1号として認定された。今後、高出力蓄電池の小型化や電気機器のコスト低減が期待される。

## トピックス 5 CO<sub>2</sub> 排出低減効果の高いハイブリッド型建設機械

我が国において、建設現場等で使用される建設機械から排出されるCO<sub>2</sub>は、2002年時点で年間約1,111万トンと総排出量の約1%と推定される。そのうちの約半分は油圧ショベルが占めている。建設機械分野の低炭素化対策として、エンジンと電動機の2つの原動機により作動するハイブリッド型油圧ショベルの開発が進められ、今後の普及が見込まれている。現在のところ、世界でハイブリッド型油圧ショベルを販売しているのは、日本企業の2社のみである。

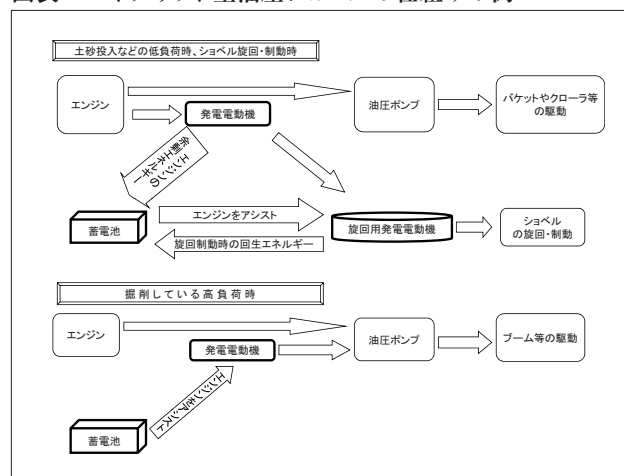
国土交通省では、CO<sub>2</sub>排出低減効果の高いハイブリッド型建設機械の普及を促進するために、2010年4月より低炭素型建設機械の認定制度を開始している。2社の油圧ショベルは、従来機と比べて25～40%のCO<sub>2</sub>排出量の削減を実現しており、2010年6月21日に低炭素型建設機械の第1号として認定された。低炭素型建設機械は、取得に際して日本政策金融公庫の貸付対象となる。

油圧ショベルの基本的な動作は、土砂等の掘削、旋回、土砂の投入などである。非ハイブリッド型油圧ショベルのエンジンの出力の変動は、例えばバケット容量0.28m<sup>3</sup>級の油圧ショベルでは、最大負荷の土砂掘削時が41kW、土砂の投入など低負荷時では18kWまで低下する。油圧ショベルは、このような負荷の大きな変動が短い時間に繰り返す。ハイブリッド型油圧ショベルでは、油圧ショベルの旋回を制動する際に発生する回生エネルギーを蓄電池に充電し、蓄電池に蓄えられ

た電力で駆動する発電電動機が高負荷時にエンジンのアシストを行う。この技術によりエンジンが小型化され、従来機より低燃費、低騒音、NOXやPMなどの有害物質の削減が図られた。2社のうち1社のショベルは、低負荷時のエンジンの余剰エネルギーも蓄電池に充電しており、エンジンの最大出力を41kWから27kWへ小型にして、さらなる低燃費化を図っている。

車体の価格は、ハイブリッド化により付加された発電電動機や蓄電池などの装備により、従来機と比べて約1.5～2.3倍と割高になっている。今後、高出力蓄電池の小型化や電気機器コストの低減が期待される。

図表 ハイブリッド型油圧ショベルの仕組みの例



参考文献<sup>3)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

### 参 考

- 1) 国土交通省プレスリリース：[http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15\\_hh\\_000038.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo15_hh_000038.html)
- 2) 環境省プレスリリース：<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=9547>
- 3) コベルコ建機(株)プレスリリース：<http://www.kobelco-kenki.co.jp/corporateinfo/news/2009/1113.html>
- 4) (株)小松製作所プレスリリース：<http://www.komatsu.co.jp/hybrid/top.html>



2010年6月22日、米国議会上院の商業・科学・運輸委員会の競争・革新・輸出促進小委員会で、「米国のイノベーション：機会と障壁」と題する公聴会が開催された。これは5月28日に下院で可決され、6月9日に上院で審議継続が了承された「2010年米国競争力再認可法案」を審査対象とする公聴会である。同法案は米国の長期的な競争力に関するもので、議会・産業界・学協会からは、経済発展と雇用創出をもたらすものとして立法化への期待が大きい。

## トピックス6 「2010年米国競争力再認可法案」の立法化への期待

2010年6月22日に米国議会上院の商業・科学・運輸委員会の競争・革新・輸出促進小委員会で、「米国のイノベーション：機会と障壁」<sup>1)</sup>と題する公聴会<sup>2)</sup>が開催された。これは、2010年5月28日に米国議会下院で可決され、6月9日に上院で審議継続が了承された「2010年米国競争力再認可法案」<sup>3)</sup>が対象となっている。

2009年9月に公表された「米国イノベーション戦略」<sup>4)</sup>では、長期的視点での競争力確保についても言及されたが、経済危機等を背景に米国再生再投資法 (ARRA)<sup>5)</sup>に基づく短期的施策が鋭意実施され、長期戦略の方は明示的なアクションはとられていなかったようである。長期的な競争力に関するこの法案は超党派の支持により下院を通過した。財政赤字拡大の懸念がある一方で、議会・産業界・学協会では立法化への期待が高い。

上記公聴会開催趣旨と証言の概要は以下の通りである。  
○ロックフェラー上院議員 (民主党・ウェストバージニア州、商業・科学・運輸委員会委員長)：現在、ARRAに基づき新規で卓越した技術の導入が進展しているが、雇用創出などを目指す短期的なプログラムであり、長期的な視野に立つものではない。そこで、基礎研究の促進と科学・技術・エンジニアリング・数学教育の強化を目的とする米国競争力再認可法の提出が必要である。  
○クロブッチャー上院議員 (民主党・ミネソタ州、競争・革新・輸出促進小委員会委員長)：米国を消費・輸入から生産・輸出の国へと変化させる必要性、これこそが経済発展と雇用創出の原則である。

(証言) チョプラ大統領府科学技術政策局 (OSTP) 副長官兼 CTO：米国の向上心は、長期的な科学技術イノベーションに強く依存している。これは将来の希望に向けた究極の行動であり、将来への最も重要な遺産である。

(証言) アトキンソン・技術イノベーション情報財団理事長：企業の自助努力のみでは、高付加価値の技術や知識集約的な生産のグローバルな競争で米国の損失となる。今、議会にはこの流れを変え前進させる機会がある。

(証言) ウーブル・アドバンスドメディカルテクノロジー協会理事長兼 CEO：ベンチャーキャピタルが支援する小規模の企業は、米国の将来の科学技術のリーダーシップにとって決定的に重要である。そうした企業こそが成長を促す技術的なブレークスルーの源泉である。

(証言) ワイス・CoAxia 社長兼 CEO：医療ロボットのイノベーションは、米国にとって重要な価値の源泉である。しかし、金融市場の不安定、既存の規制、規制改革の不確実性、特許制度、医師や大学へのアクセス不足、保険適用の不透明性とスピード不足が脅威となっている。業界は、議会によるレビューを歓迎する。

(証言) ウィリアムス・ニューワールドエンジェルス社長：高成長で技術集約型のベンチャーに対する早期段階での投資は技術的イノベーションの商業化に決定的に重要であり、米国の競争力の強化と確固とした雇用の創出を促進する。1980年から2005年の間における米国の正味の雇用の創出は、創業5年未満の企業によるものである。

### 参 考

- 1) U.S. Senate Committee on Commerce, Science, & Transportation  
<http://commerce.senate.gov/public/index.cfm?p=PressReleases>
- 2) 議会の立法調査権を根拠とする。証人は証言を義務づけられ拒否することができない。虚偽発言等を行うと訴追される。
- 3) 法案 H.R.5116：主な内容は、国家ナノテクノロジーイニシアチブ修正、ハイパフォーマンス・コンピューティング法修正、NSF・NIST・DOE 科学局の予算倍増、STEM 教育、イノベーション促進等のパッケージ法案。ゴードン下院科学技術委員会委員長 (民主党・テネシー州) を中心にとりまとめられた。同議員は2007年の「米国競争力法」成立に尽力した人物の一人。合衆国憲法の規定で、予算措置を含む法案は議会下院が発議する。しかし、下院を通過した法案でも上院が審議の必要性を認めないと廃案となる場合もある。なお、本法案は7月22日に上院小委員会の超党派の合意の下法案 S.3605 に修正され、引き続き上院本会議で審議されることとなった。
- 4) 科学技術動向、No.103、2009年10月号トピックス「オバマ政権が「米国イノベーション戦略」を発表」
- 5) JST-CRDS、海外科学技術動向「米国景気対策法」<http://crds.jst.go.jp/kaigai/report/TR/AM/US20090225.pdf>  
2009年2月

# ICT から見た スマートグリッドの可能性

日高 一義  
客員研究官

## 1 はじめに

電力網に ICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術) を活用し、信頼性の向上・コストの削減・環境負荷の低減を実現する次世代の電力供給システムをスマートグリッドと呼ぶことが多い。しかし、むしろ新たな社会・経済の基盤として、ICT 産業の次の成長の領域として、スマートグリッドを位置付けることにこそ、より大きな重要性があると思われる。

既存の電力システムと、スマートグリッドの違いを図表1に示す<sup>1) 3)</sup>。既存の電力システムは、大きく分けると発電(火力、水力、原子力による集中型発電)、送電や配電による電力流通、および需要家による電力消費で構成されている。電力の流れは、発電→送電→配電→消費と上流から一方向である。情報の流れは、日本などの先進システムの場合、発電から送電までの部分において主に障害などの監視のために存在している。

これに対して、スマートグリッドでは、太陽光発電・風力発電などの再生可能エネルギーを利用した分散電源と蓄電から成る部分が構成要素として追加される。また、需要家サイドでも、消費のほかに、

太陽光発電による発電や蓄電の機能が追加される。さらに、Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) など消費・発電・蓄電の機能を持った自動車も加わる。そして、これらの構成要素の間で、電力と情報が双方向的にやりとりされるようになる。

スマートグリッドにおけるさらに重要な変化は、クーラーや冷蔵庫などの電化製品、そして電灯など「電力を消費する人工物」が、新たな構成要素としてネットワークに接続され、電力の消費のみならず情報のやりとりを行うようになることである。

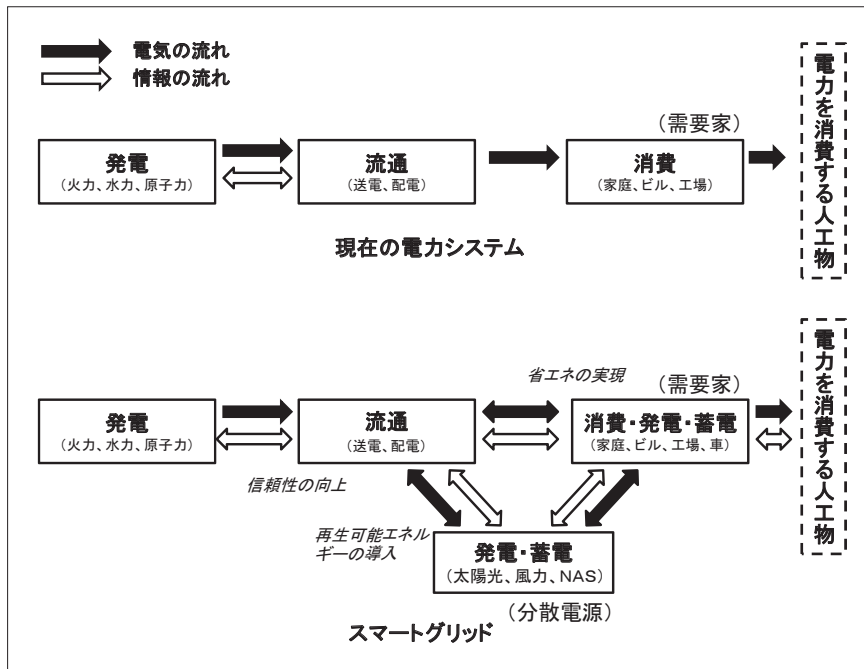
世界的に広まる低炭素社会の実現の動きから、再生可能エネルギーの導入と、個人生活・企業運営・地域社会など社会のあらゆる領域における省エネルギー化が必要とされており、この流れがスマートグリッドの研究開発と事業化を世界的に加速させている。その理由は、再生可能エネルギーを産するための太陽光発電・風力発電や CO<sub>2</sub> 排出を大幅に低減させると期待される PHEV を社会実装する段階で、既存の電力系統との整合性をとるためにスマートグリッドの

ような高度な制御システムが必要となるからである。また、さらなる省エネルギー化のためには、電力消費の見える化・市場メカニズムの導入・供給サイドからの電力供給制御などが必要となり、これらに対してもスマートグリッドのような高度なシステムが必要となるからである。

電力システムが老朽化しつつある米国においては、信頼性の向上(停電対策など)・需要管理の促進(省エネルギー化)・分散電源の導入を目的として、スマートグリッドの導入が急がれている。とくに、後述するスマートメーターを導入した需要管理へ重点が置かれている。これは、老朽化した配電網を刷新するよりも少ない費用で大きな効果が期待でき<sup>4)</sup>、また、新しい社会サービスのインフラ構築が期待できるからと考えられる。

日本においては、現在の米国を中心としたスマートグリッド推進動向に関して、懐疑的な見方も少なくない。これは、現在の日本の安定的な電力事情<sup>5)</sup>とそれを支えるインフラストラクチャーが、米国などとは決定的に異なることが大きな理由である。日本における

図表1 スマートグリッドと現在のシステム



参考文献<sup>1, 3)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

スマートグリッド導入のモチベーションは、太陽光発電・風力発電・PHEVなどを、次世代の環境・エネルギー技術として社会実装していく時に、既存の電力システムとどう連携するかというマネジメントシステムの実現にある。これら技術の利用にはCO<sub>2</sub>削減など環境問題からの圧力が拍車をかけると思われるが、このようなモチベーションが「スマートグリッド」の発展にどこまで影響するかは、議論の分かれるところである。

安定した環境負荷の低い電力の供給がスマートグリッドの出発点である。それだけに、再生可エネ

ルギー・蓄電池を含めた「電力の発電・送電・蓄電」に係る「電力の新技術および新産業」にのみ、将来の発展性を求めがちである。それは間違った見方ではないが、今はそれに付随しているだけのように見える部分の発展性も大きいことを見逃してはならない。すなわち、現在のインターネットを規模の上で何倍も上回る通信ネットワークの出現が起こり、今後の社会の技術・産業に多大なインパクトを与えることを忘れてはならない。

特に米国では、スマートグリッドに関する政府や産業界の動きは、

大変に活発なものとなっている。Google 社、AT&T 社、Cisco 社、Oracle 社、IBM 社など ICT 産業の実力企業が、こぞってこの分野の技術開発とビジネスに参入して来ている。この現状を見ると、米国の経済界はこの分野を ICT 産業の次の重要な市場とみなしている事がわかる。

今後、スマートグリッドを実現するために導入が予定されているスマートメーターが、家庭内の多種多様な電気機器やセンサーを外部通信ネットワークに接続する役割を果たすようになれば、通信主体が「人」であったこれまでのインターネットに、生活の中のすべての「電力を消費する人工物」が新たな通信主体となって接続されてくるのである。「世界に27億台ある家庭用電力メーターが全てスマートメーターに置き換えれば、半導体メーカーにとっては莫大な市場が出現することになる。」<sup>4)</sup>という期待に代表されるように、半導体メーカー・通信機器メーカーだけでなく、それらを動かすためのソフトウェアとサービスに、新たなICTの大きな市場がありうることを認識する必要がある。

本レポートでは、このようなICTの視点からのスマートグリッドの最近の動向を報告する。

## 2 スマートグリッドの ICT に関係する世界市場の大きさ

スマートグリッドの ICT に関する世界市場の規模は、2010年で890億US\$（およそ9兆円）、2014年には1700億US\$（およそ17兆円）で、年20%の成長率が予測されている（図表2：Zpryme社資料）。また、スマートグリッド関連の要素技術市場の年成長率としては、センサーとデバイスが18%、全体を

管理・制御するためのITのソフトウェアとハードウェア（コンピュータ）が21%、通信関連が22%、スマートメーターが24%の成長を見せると予測されている。センサーとデバイス・全体を管理・制御するためのITのソフトウェアとハードウェア（コンピュータ）・通信関連の合計でスマートグリッド関連

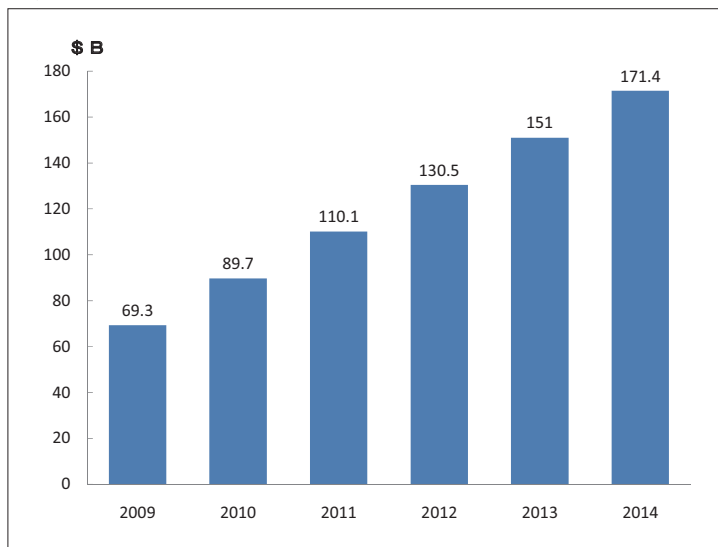
の市場規模全体の89%を占める。昨今の経済状況において年率20%で成長が予測できる領域は希であり、スマートグリッドに関連するICTの市場は極めて重要な成長市場と言える。

また、世界のスマートメーターの設置数は、2009年の7,600万台から、2014年には2.1億台に拡大



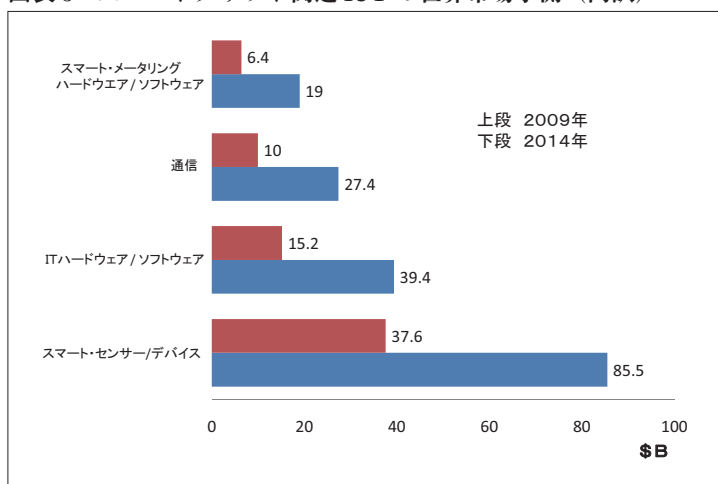
する<sup>3)</sup>。2015年には世界全体のスマートメーターの普及率は18%に達する見通しであるが、北米に限ればその普及率は現在の5%から55%に達すると予測されている<sup>3)</sup>。

図表2 スマートグリッド関連 ICT の世界市場予測



参考文献<sup>19)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表3 スマートグリッド関連 ICT の世界市場予測（内訳）



参考文献<sup>19)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

## 3 米国と日本の動向

### 3-1

#### 米国の動向

##### 3-1-1 政府投資の規模とその効果の見積もり

米国では現在、スマートメーターの普及による電力システムの近代

化を中心に、スマートグリッド関係に多くの投資が行われている。

まず、連邦政府は2009年の経済対策法(American Recovery and Reinvestment Act (通称ARRA))により、スマートグリッドに対して45億US\$の投資を行っている。このうちグラントプログラムに34億US\$が充てられ、既存電力網の

信頼性向上と需要管理の促進のための設備インフラへの補助金となっている。この投資によって、スマートメーターが米国の全世帯のおよそ1/3に当たる4000万世帯に導入される計画である。

一方、62億US\$は分散電源の導入を中心とした地域実証/エネルギー貯蔵実証プログラムに充てら

れている<sup>3)</sup>。

上記の 34 億ドルのグラントプログラムと 6.2 億ドルの実証プログラムへの投資効果は、以下のよう  
に見積もられている<sup>3)</sup>。

- 停電の減少により、年間 1500 億 US\$ (一人あたり 500 US\$) の損失削減
- ピーク需要 1400MW 以上(資本コスト 15 億 US\$)削減と電力料金の引き下げ
- 2020 年までに 20% を再生可能エネルギーにするという目標を達成可能にする
- 数万人の雇用の創出
- 47 億 US\$ の民間投資を誘発

### 3-1-2 電力企業・ICT 企業・大学・公的研究機関の連携

図表 4 に、上記のグラントプログラムによって行われる主要プロジェクトを示す。

動的マネジメント・価格設定・自動化・監視・ネットワークマネジメントなどの領域で、電力企業と IT 産業の主要企業が連携してプロジェクトに臨んでおり、これらの実施場所や試験場所は主に学校や大学である。例えば、Florida Power & Light Company のプロジェクトでは、スマートメーターを用いて電力供給の安定化と情報化を図り、大学や学校に設置される太陽光発電が検討される。また、300 台の PHEV が Miami Dade College, Florida International University, the University of Miami の各大学に試験的に導入され、およそ 50 箇所の充電ステーションも設置される予定である。その他、家庭内エネルギーディスプレイ、ピークデマンドの時に低消費モード切り換える節電装置、スマートメーターから制御可能なプログラマブル・サーモスタット、電灯や家電装置管理するためのデマンドマネジメント、デマンド・レスポンスのソフトウェアなどが、IT 企業と共同

開発される予定になっている<sup>22)</sup>。

一方、図表 5 には、地域実証プログラムに基づく主要プロジェクトを示す。具体的な実証テーマに対しては、電力企業・ICT 企業・大学・公的研究機関が連携してプロジェクトに臨んでおり、特に、今後重要になる人間の行動とエネルギー使用の関係、サイバーセキュリティなどに関する基礎的データの取得が計画されている。例えば、ロス・アンジェルス水道電力局地域実証プロジェクトでは、店舗用・医療・小売・工業地域などの各領域におけるインフラとしての実証

性の研究場所に、大学のキャンパスが選定されている。このプロジェクトの場合、情報インフラの構築による人間行動の分析とエネルギー使用に関する包括的研究、次世代サーバーセキュリティ技術の実証研究、充電設備を持たない利用者の電気自動車使用のパターン分析、など、情報機器に関する研究開発に限らず、広い意味での情報技術に関する先進的な研究開発が計画されている<sup>23)</sup>。

### 3-1-3 ICT 企業の活発な動き

従来からの GE 社・IBM 社・

図表 4 グラントプログラムによる主要プロジェクト

電力企業	連邦政府資金、配分先の州、スマートメーターの数 (個)	導入対象	IT企業
Central Point Energy	200百万ドル、テキサス州、220万	550以上のセンサー、自動スイッチ	IBM, GE, Itron, QuantaServices
Baltimore Gas & Electric	200百万ドル、メリーランド州、110万	動的価格、直接負荷制御プログラムの拡充	(N/A)
Duke Energy Business Services	200百万ドル、ノースカロライナ州、140 万	動的価格プログラム、双方向通信、自動先端配電アプリ、PHV	Cisco, Echelon
Florida Power & Light Company	200百万ドル、フロリダ州、260万	9,000のインテリジェント配電機器、先端監視機器	GE, Cisco, Sliver Spring, SunPower
Progress Energy Services	200百万ドル、ノースカロライナ州、16万		IMB, Telvent

参考文献<sup>3)</sup> を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 5 地域実証プログラムによる主要プロジェクト

実証プロジェクト名	政府資金額 主要地域	内容	電力企業	大学・IT系企業等
北西太平洋岸実証プロジェクト	88百万ドル ワシントン州	・双方向通信 (分散電源、蓄電池、需要源、既存グリッド) ・SGのコスト利益計算の実施 ・相互接続性、セキュリティ	Battle Memorial Institute 地域の12電力会社	大学: UW, WSU 企業: IBM, 3tiers, Netzza, QualityLogics
オハイオ・grid SMART実証プロジェクト	75百万ドル オハイオ州	・13の技術を実証 (配電自動化、スマートメーター機器、Home Area Network(HAN)、PHEV、蓄電、再生可能エネルギー等)	Columbus Southern Power Company	研究機関: EPRI, PNNL 企業: Battelle, GE, Silver Spring, Lockheed Martin
ロス・アンジェルス水道電力局地域実証プロジェクト	60百万ドル カリフォルニア州	・大学構内での実証 ・消費者のエネルギー利用方法、サイバーセキュリティ技術、PHVとの統合	Los Angeles Department of Water & Power	大学: USC, USLA, CalTech
安全で相互接続可能・オープンなグリッド実証	45百万ドル ニューヨーク州	・セキュリティ・ピーク需要削減・信頼性向上 (再生可能エネルギー、グリッド監視、EV、送電自動化、消費者システム)	Consolidated Edison Company of NY	大学等: EPRI, Columbia 企業: Boeing, Prosser, CALM Energy
Irvine 実証プロジェクト	40百万ドル カリフォルニア州	・送配電システムからスマート機器まで ・相互運用性、セキュリティ等に焦点	Southern California Edison (SCE), PG&E	大学等: USC, EPRI, 企業: GE, Cisco, IBM, Boeing

参考文献<sup>3)</sup> を基に科学技術動向研究センターにて作成

Accenture 社などに加えて、消費者向け電力マネジメントサービス市場への IT 企業の新規参入が始まっている。ワイヤレスネットワークの拡大を狙う AT&T 社、Cisco Smart Grid Solution 社による家庭の IP ネットワーク支援、ビルのエネルギー管理インフラを目指す Cisco 社、エネルギー・マネジメントシステムを消費者に開放することをねらう Oracle 社、Google Power Meter により家庭の省エネマネジメントとその延長上の新規ビジネスをねらう Google 社、クラウドを利用して家庭向けのエネルギー消費マネジメントシステムを開発している Microsoft 社、などが例として挙げられる<sup>2)</sup>。

電力のモニターに直接絡んだ機器を自分たちのビジネスに取り入れてようとしている情報企業もある。例えば、IBM 社は送配電システムの効率的に運営する「インテリジェント・ユーティリティー・ネットワーク (IUN)」を構築するために、家庭用電力メーターに双方向通信機能とパソコン機能を組み込んだスマートメーター (図表 6) を利用したソリューションを提供している<sup>7)</sup>。

図表 6 IBM 社の提供するスマートメーター<sup>7)</sup>



一方、Google 社は、Google PowerMeter と呼ばれるインターネットのブラウザを通して利用できるソフトウェアを開発し、インターネットで提供している。この PowerMeter を使えば、契約している電力会社からの電力の消費状況を家庭やオフィスで簡単にモニターでき、電力消費の視覚化による省エネルギー化の効果が期待できる。また、このソフトウェアを用いれば、配電盤に取り付けることが可能なクリップオン型の電力モニターからも、ネットワークを通じて情報を入手することができる<sup>8)</sup>。

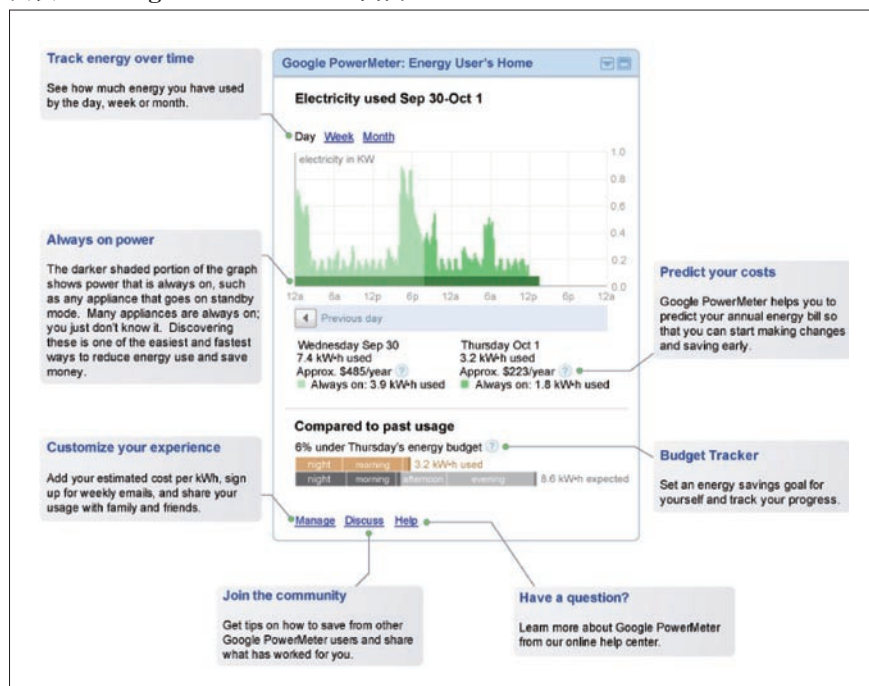
### 3-1-4 新たな先進企業の登場

米国では、スマートグリッドによって出現する新規ビジネスを目的として、上記とも異なる新たな先進企業が生まれていることにも注目すべきであろう。これらの中には、他分野からの参入や新たな起業が含まれる。その例として、需要サイドの機器監視制御 (Advanced Metering Infrastructure) 関連の Silver Sprig Networks 社・Itron 社・Landis+Gyr 社、要求応答 (デマンドレスポンス) を扱う

Comverge 社や EnerNoc 社、家庭内ネットワーク関連の GridPoint 社などが挙げられる<sup>9)</sup>。これらは、2000 年前後からメーター関連の機器製造などで創業した企業が多く、自社の製品をネットワークにリンクさせることによって、スマートグリッド市場の新ビジネス開拓を狙っている。図表 8 によれば、これらの企業は堅実にあるいは飛躍的に規模と売上を伸ばしていることが分かる。

例えば Google 社発のベンチャーである Silver Spring Networks 社は、2002 年に設立され、現在は従業員 200 人程度の企業である<sup>9)</sup>が、既に海外を含めて有力な電力の関連企業を顧客としている。彼らの顧客の例としては、American Electric Power 社、CitiPower & Powercor Australia 社、Florida Power & Light 社、Jemena 社、Modesto Irrigation District 社、OG&E Electric Services 社、Pacific Gas and Electric Company 社、Pepco Holdings 社、Sacramento Municipal Utility District 社、Powerful 社、Influential Leadership 社などが挙げられている<sup>10)</sup>。この

図表 7 Google PowerMeter の画面<sup>8)</sup>





図表 8 新たにこの領域に登場した企業

企業名	本社所在地	設立	概要
Itron	Liberty Lake, WA	1977	・1977 年にIdaho で最初の製品を販売 ・2004 年SchlumbergerAdvanced Metering、2007 年 Actaris 買収 ・現在8000 以上の電力が利用。AMR*、AMI** 等 ・売上664 (2006)、1464 (2007)、1910 (2008) 百万ドル。従業員数8500 人以上
Landis + Gyr	スイス	1886	・2004 年豪州の投資会社を買収 ・300 百万以上のメーターを販売 ・売上は1364 百万ドル、従業員数は5070
Sensus	Raleigh, NC	2003	・19 世紀後半にPittsburg のメーター企業。その後Rockwell 等に買収されるなどを繰り返し、2003 年現行名に変更 ・AMR*、AMI** 等。・従業員数3838 人。売上633 (2006)、694 (2007)、671 (2008) 百万ドル
EnerNOC	Boston, MA	2001	・現在1650 の商業、産業向け顧客。2050MW の需要対応 ・売上26 (2006)、61 (2007)、106 (2008) 百万ドルで増加
Echelon	San Jose, CA	1988	・Networked Energy System の提供 ・従業員325名。売上137 (2007)、134 (2008) 百万ドル
Comverge	East Hanover, NJ	1997	・1997年PowerCom、Lucent の部門が合併、1999年Scientific Atlantaの部門、2003 年Sixth Dimension 吸収、2007 年IPO ・500万以上の機器を販売。SDGE (CA)、Public Services Company of New Mexico, PacifiCorp, New England ISO 等 ・売上34 (2006)、55 (2007)、77 (2008) 百万ドル
Ambient	Newton, MA	1996	・インターネットベースのスマートグリッド (AMR*含む) ・売上は2.3 (2007)、12.6 (2008) 百万ドル。従業員38名
Silver Spring Networks	Redwood City, CA	2002	・インターネットによるAMI**、需要対応等 ・主要顧客は、Florida Power & Light, PGE, Pepco, Jemena Electricity Networks, United Energy Distribution
Trilliant Networks	Redwood City, CA	2004	・前身は1985 年に設立。2004 年に現企業に ・AMI**、100 万のメーターを配布。200以上の電力顧客

AMR\*: Automatic Meter Reading

AMI\*\*: Advanced Metering Infrastructure

参考文献<sup>2)</sup> を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 9 Silver Spring Network 社の協力企業

技術	協力企業
Advanced Metering	Elster, GE Energy, Itron, Kinects Solutions, Landis + Gyr, Nansen, PRI
Demand Response / Energy Management	Comverge, EnerNOC
Distribution Automation	ABB, DC Systems, S&C Electric Company
Electric Vehicles	ClipperCreek
Home Area Networks and Devices	Arch Rock, Carrier Corporation, Control4, Energate, Exegin, Invensys, LS Research, Onzo, Radio Thermostat of America, Tendril
Networking	Cisco, Digi International, Sierra Wireless
Software	eMeter, Freestyle Technology, GEEnergy, GridPoint, Itron, OSIssoft, Oracle

参考文献<sup>10)</sup> を基に科学技術動向研究センターにて作成

Silver Spring Networks 社成長の背景には、製品・ソリューション・サービスのあらゆる側面で事業を展開していること、および図表 9 から分かるように、デマンドレスポンス・分散電源・電気自動車・ホームネットワーク・通信・ソフトウェアの多様な技術領域で様々な企業と協力関係が築けていることが強みになっていると考えられる。

また、GE 社はベンチャーキャピタル企業 4 社とともに、スマート

グリッド関連の新技術開発を促進するため、2 億 US\$ 規模の基金を創設する方針を明らかにしている<sup>24)</sup>。このような基金は、さらに新しい参入や起業を誘発する可能性もある。

### 3-1-5 標準化活動と法的整備

米国におけるスマートグリッドの技術開発の基本的な考え方は、インターオペラビリティ (相互運用性) の確保にある。

インターネットとは、字義どお

り、「インター」+「ネット」であり、ネットワーク間でネットワーク同士を結び付けるネットワークのことを指す。同じように、スマートグリッドも「グリッド間のグリッド」、つまり、様々なグリッドを結びつけるグリッド、という考え方が基本になっている。

このため、国家単位で標準化すべきものがあるとすれば、グリッド間の相互接続性とそのためのプロトコルの設定であり、米国の場合、商務省下の国立標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology : NIST) による標準化が進められている。この標準化により、個々のグリッドにおける先進的な技術開発を進めながら、将来的にはそれらの接続を保障することが可能となる。

具体的には、連邦政府は、2007 年の Energy Independence and Security Act (EISA) に基づき、NIST に 500 万 US\$ を投資し、スマートグリッドにおける ICT 面での総合運用性、セキュリティーに対する標準化活動を行わせている。NIST のレポートの注にある “protocols and standard for information management for interoperability of smart grid devices and systems” という部分から分かるように、「情報のやりとりのための標準化」に焦点が当てられている。このような標準化活動の背景として、一部の報道では「オバマ政権のスマートグリッドへの莫大な投資は、まず自国で技術開発と実用化を図り、米国企業のこの分野における育成を図り、その後世界市場の覇権を握るという戦略がある」と推測されている<sup>4)</sup>。

また、米国では、スマート・メーターの情報をリアルタイムで消費者に提供することを義務化する法案が米議会に提出され<sup>11)</sup>、スマートグリッドの運用を活性化するための法的整備も進められていると言える。

## 3-2

## 日本の動向

日本においても、いくつかの実証プロジェクトがすでに始まっている。関西電力(株)による3000台の電力メーターによるスマートグリッドの実験、沖縄電力(株)による離島独立型系統新エネルギー導入実証事業<sup>12)</sup>、風力発電を導入した六ヶ所村スマートグリッド実証<sup>13)</sup>、東京大学・東京工業大学・電力企業各社が参加する次世代送配電系統最適制御実証事業<sup>14)</sup>などである。

また、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、米国ニューメキシコ州において、日本企業によるスマートグリッドの実証実験を始めた。日本では様々な法規制のために実証が難しい技術、制約のない米国で実証するためである。このプロジェクトの背景には、ニューメキシコ州が日本の企業の技術により米国の他州との差別化を図りたいと考えていることや、同州が米国の中でもとりわけ日照量が多く太陽光発電の実験に向いているなどの事情がある。

ただし、このプロジェクトでは、実験対象のほとんどを太陽電池技術や蓄電池関連技術などの情報系以外の技術が占めている。

経済産業省が省内横断的なプロジェクトチームとして設けた次世代エネルギー・社会システム協議会は、ICT・エネルギー・交通システムのイノベーションにより次世代の都市づくりを目指す「スマートコミュニティ」の国内実証を行なうことを決定している。具体的には、神奈川県横浜市・愛知県豊田市・京都府けいはんな学研都市・福岡県北九州市において行うことを決定した。

また、「スマートグリッドやスマートコミュニティに関連する企業が集まり、民間主導で議論する場として「スマートコミュニティフォーラム」が、経済産業省が事務局となって2009年12月に発足した。このフォーラムの狙いは、低炭素社会の実現に向けた需要サイドの対策による可能性の追求、スマートコミュニティのあるべきビジョンの共有、システムのアーキテクチャと各要素のあり方の明確化、システムとして海外展開するためのアライアンス形成と戦略づくりとされている<sup>15)</sup>。このフォー

ラムの成果のひとつとして、2010年6月に推進組織として352企業から成る「スマートコミュニティ・アライアンス」がNEDOを事務局として設立された。このアライアンスでは、国際戦略・国際標準化・ロードマップ・スマートハウスに関し、各ワーキンググループが開始された。

なお、2010年6月に閣議決定された「新成長戦略」のなかにも、今後の重点領域のひとつである「グリーンイノベーション」のなかで、スマートグリッドの実現が盛り込まれている。

日本では1990年頃に、四国電力(株)によるOpenPLANETというプロジェクトが存在したが、これは広まりをみせなかった。その理由は、当時は電力線通信(PLC)・PHSなどの通信インフラが未熟であり、また、CPUを備えたような電力メーターを使っただけの家庭用の新しいサービスが提案できなかったためとされている<sup>16)</sup>。この例が示すように、スマートグリッドは、「キラー・アプリケーション」の提案の有無が成功の鍵を握っていると言えるだろう。

## 4 スマートグリッドにおける ICT

## 4-1

## ICT の担う役割

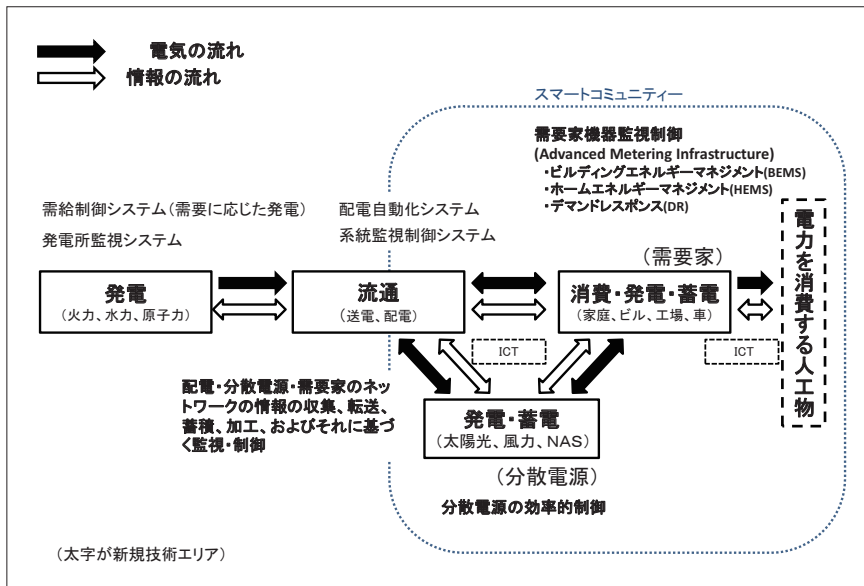
図表10に、スマートグリッドに関連するICTの役割を示す。従来から研究開発が進められ、すでにある程度は実現されているものとして、発電における発電監視システム、需要に応じた発電制御をおこなう需給制御システム、送電・配電を安定的に実現する系統監視

システムや配電自動化システムなどがある。また、自動検針なども一部で実現されている。前述したように、スマートグリッドにおいては需要サイドに発電・蓄電の機能が追加され、また分散電源が導入されるため、系全体の複雑さが飛躍的に増大し、系の制御も高度化されねばならない。従来からのICTに加えて、発電・送電・配電・分散電源を通して流通される莫大な量の情報の、収集・転送・蓄積・加工およびそれに基づく監

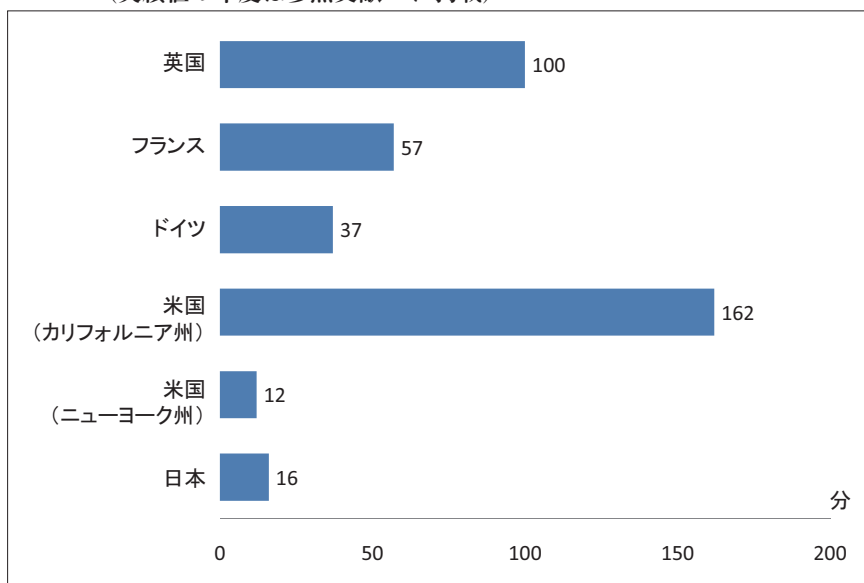
視や制御・意思決定支援などが必要とされる。また、ビルディングエネルギーマネジメントシステム(BEMS)やホームエネルギーマネジメントシステム(HEMS)を中心とした、需要サイドの機器監視制御(Advanced Metering Infrastructure: AMI)も新たな技術領域である。

電力系統へのICT導入の日本におけるこれまでの例として、例えば東京電力(株)は送電線敷設時にほとんどの送電線に通信機能を埋

図表 10 スマートグリッドにおける ICT の役割



参考文献<sup>1, 3)</sup> を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 11 家庭 1 件あたりの年間停電時間の国際比較  
（実績値の年度は参照文献<sup>6)</sup> に掲載）

参考文献<sup>6)</sup> を基に科学技術動向研究センターにて作成

め込み、基幹系と配電網で障害を検知している。その結果、日本の家庭 1 軒当たりの年間停電時間は 16 分となり、優れた制御システムが構築されている（図表 11）。

再生可能エネルギーの各地域および各家庭への導入においては、高度な制御システムが必要になる。電力システムは常に需要と供給が一致していなければならないため、既存の電力システムでは、需要が増加した場合、発電量を増やしこれに即対応できるようにしている。再生可能エネルギーの太陽光発電・

風力発電等は天候に左右されやすく電力の供給量が変動し、この変動を既存電力システムで吸収しなければならないため、高度な制御システムが必要となる。日本では経済産業省が 2030 年に 53GW の太陽光発電の導入計画を発表しているが、一方、電力 10 社から成る電気事業連合会は 10GW が限界であるとしている。その理由は太陽光発電の発電量が大きく変動し、系統の品質に大きく影響を与える可能性があるためである。ただし、スマートグリッドを用いたマネジメ

ントシステムの導入により、この影響を軽減することが期待されている<sup>3)</sup>。

米国においては、電力システム — 地域ネットワーク — ホームネットワークを連携させるマネジメントシステムの研究開発投資が活発化している。地域ネットワークにおける再生可能エネルギーの導入はいましばらく時間がかかることから、産業界においては主にホームネットワークにおける技術開発と社会実装への試みが先行している<sup>3)</sup>。これは需要家機器監視制御を行うための Advanced Metering Infrastructure (AMI) によって実現されるが、AMI はスマートメーター (Smart meter) ・家電・通信・ホームエネルギーマネジメントシステム (HEMS) によって構成される。このうち特にスマートメーターは、家電製品からのデータ入力・家電製品への制御を行なうことのできる通信機能を持った電力メーターである。これまでの電力メーターの機能に家庭内のエアコン・照明器具などの家電や温度計などのセンサーなどが無線でつながり、電力の消費情報・温度情報などが収集できるようになる。スマートメーターは外部ともネットワークでつながるため、最終的には全世界の家電製品・センサー・電力メーターが、ネットワークを介してインターネットの通信主体のひとつになっていく。

スマートメーターを家庭に導入することのメリットとして、まず「電力消費の見える化」により各家庭で自発的に節電意識が向上することが挙げられる。電気機器の監視とオン・オフの機能を組み入れることにより、需要サイドのマネジメントによる電力利用の効率化が図られることになる。一方、供給側である電力会社は、需要がピークを迎えたときに強制的な供給制御を実現することもできる。さらに将来、各家庭において太陽光発



電による発電が行われ、PHEVの導入による余剰電力の売買などが可能になった場合には、スマートメーターは、市場原理に基づくダイナミックな電力市場の安定を保証する重要なアクセスポイントの役割を果たすと考えられる。また、AMIにより家庭ごとのきめ細かな電力の仕様状況が把握でき、これを利用してライフスタイルを把握して新規ビジネスが創出される可能性もある。ただし、その場合にはプライバシーの保護に十分気をつける必要がある。

## 4-2

### 巨大なネットワーク システムの登場

将来的に、数100万台のスマートメーター・給湯装置・家電製品・膨大な数のセンサーなどが、既存の電力システム・再生可能エネルギーシステム・ガスの供給システム・水道の供給システムなどの社会インフラと接続されると、現在のインターネットを上回る巨大な地球規模のネットワークシステムが出現することになる。その場合、ネットワークに接続された各デバイスが生成する膨大な量のデータを収集・分析し、制御に結びつけるため、強固なネットワークと高度な情報処理システム、および、これらを実現する様々なグリッドの相互接続性を可能にするアーキテクチャ・情報セキュリティ技術が必須となる。

現在のインターネットの場合には、伝達されるものは抽象化されたビット列(0101・・・)のみであるが、新たに出現するネットワー

クは物理的実態の伝達も並列に行われることにするため、システムとしての複雑さが格段に高まる。また、新たに出現するネットワークにおいても、現在のインターネットと同じように、情報の収集・転送・蓄積・加工・検索・提示・セキュリティとプライバシーの保護などが要求されると考えられる。

## 4-3

### スマートグリッドを支える 考えられている ICT 要素と標準化

米国エネルギー省のまとめたスマートグリッドを支える技術要素を図表12に示す。

この分類によれば、まず、スマートグリッドを効率の良い信頼性のあるリアルタイムシステムにするため、双方向通信技術が重要と考えられている。Plug-and-Playという考え方により拡張性・変更容易性を確保したうえで、相互互換性を実現する双方向の通信アーキテクチャが確立されねばならない。次に、スマートメーターや情報家電などから上がってくる膨大な情報をモニターし、制御・診断・価格設定・資源管理などを行うための、最新のアルゴリズムを用いた制御技術が必要とされる。また、センサーおよび計測に関する技術・効率のよい正確な運用を支援するインターフェイス・意思決定支援システムも、重要技術として挙げられている。

特に双方向通信は、現在の短距離無線通信の技術が大幅に改良され、大々的に実装されると予測される。これには、家電ネットワーク・

マルチホップ通信などのアドホックネットワーク・メッシュネットワークおよびセンサーネットワークなどの技術が含まれる。また、これらを制御するための分散制御システムも開発されねばならない。例えば、ZigBeeはIEEE 802.15.4をベースに策定した短距離無線規格であり、WiFiやBluetoothなどと比べて消費電力が少なく、多くのメッシュを構成できるため、監視・制御用として注目されている。近年、ZigBee Smart Energy Profileという仕様が設定され、メーターの読み取り・機器制御・電力料金のリアルタイム清算・テキストメッセージの送信・データの暗号化・機器認証などが取り決められている<sup>2)</sup>。また、スマートグリッドを実現する通信規格の標準化のひとつとして「IEEE 802.15.4g」という標準の一環でSUN(Smart Utility Networks)が取り決められている。IEEE 802.15.4gは、半径数100メートル～数キロメートルの範囲において、複数の各ホームネットワークからの情報を電力会社やガス会社の情報収集局に集約し、双方向に制御できるため、スマートグリッド時代の無線ネットワークとして期待されている<sup>21)</sup>。

また、ICT機能を持つ家電(スマート・アプライアンス)も数多く開発されると考えられる。スマート・アプライアンスとスマートメーターを接続するインターフェイスを決める規格「OpenHAN」もすでに存在する。この標準化活動は、Pacific Gas & Electric Co. (PG&E) 社、Southern California Edison Co. (SCE) 社、American Electric Power 社などの大手電力事業者が中心となって進められている<sup>2)</sup>。

図表 12 米国エネルギー省の挙げるスマートグリッドに関連する技術要素

Technology	Examples
<b>integrated two-way communication</b> Two-way communication makes the Smart Grid a dynamic, interactive, real-time infrastructure.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• An open architecture creates a plug-and-play environment that securely networks grid components and operators, enabling them to talk, listen and interact.</li> </ul>
<b>advanced components</b> Advanced components play an active role in determining the electrical behavior of the grid, applying the latest research in materials, superconductivity, energy storage, power electronics and microelectronics to produce higher power densities, greater reliability and power quality.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Next-generation FACTS/PQ (power quality) devices</i></li> <li>• <i>Advanced distributed generation and energy storage</i></li> <li>• <i>Plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs)</i></li> <li>• <i>Fault current limiters</i></li> <li>• <i>Superconducting transmission cables</i></li> <li>• <i>Microgrids</i></li> <li>• <i>Advanced switches and conductors</i></li> <li>• <i>Solid-state transformers</i></li> </ul>
<b>advanced control methods</b> Advanced control methods monitor power system components, enabling rapid diagnosis and timely, appropriate responses to any event. They also support market pricing, enhance asset management and efficient operations, and involve a broad application of computer-based algorithms.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Data collection and monitoring of all essential grid components</i></li> <li>• <i>Data analysis to diagnose and provide solutions from both deterministic and predictive perspectives</i></li> <li>• <i>“Diagnosis” and subsequent appropriate action processed autonomously or through operators (depending on timing and complexity)</i></li> <li>• <i>Provision of information and solutions to human operators</i></li> <li>• <i>Integration with enterprise-wide processes and technologies</i></li> </ul>
<b>sensing and measurement technologies</b> Sensing and measurement technologies enhance power system measurements and facilitate the transformation of data into information to evaluate the health of equipment, support advanced protective relaying, enable consumer choice and help relieve congestion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Smart meters</i></li> <li>• <i>Ubiquitous system operating parameters</i></li> <li>• <i>Asset condition monitors</i></li> <li>• <i>Wide-area monitoring systems (WAMS)</i></li> <li>• <i>Advanced system protection</i></li> <li>• <i>Dynamic rating of transmission lines</i></li> </ul>
<b>improved interfaces and decision support</b> Improved interfaces and decision support will enable grid operators and managers to make more accurate and timely decisions at all levels of the grid, including the consumer level, while enabling more advanced operator training. Improved interfaces will better relay and display real-time data to facilitate:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Data reduction</i></li> <li>• <i>Visualization</i></li> <li>• <i>Speed of comprehension</i></li> <li>• <i>Decision support</i></li> <li>• <i>System operator training</i></li> </ul>

参考文献<sup>17)</sup>を基に科学技術動向研究センターにて作成

## 4-4

日本国内の ICT からみた  
スマートグリッドに関する論点

経済産業省が主催したスマートコミュニティフォーラムでは、ICT からみたスマートグリッドに関する論点を以下のようにまとめ、2010年6月に公表した<sup>15)</sup>。日本国内でも、このようにスマートコミュニティを実現しようという議論はあるものの、研究開発投資は太陽光発電など再生可能エネルギーや蓄電池の技術開発に関心が集中し、スマートグリッドに係る ICT の研究開発・事業化の動きが活発化・具体化していない。

## (1) 情報システムアーキテクチャ

情報システムアーキテクチャとしては、スマートメーターとホームサーバーの役割、それらのホームネットワーク内および外部への接続に関する最適な方法が考えられなければならない。ホームゲートウェイとして家庭内のすべての機器をつなぐのは、ホームサーバー(コンピュータ)かスマートメーターか、あるいは両者の共存か、のどれが望ましいのか議論されなければならない。このことにより、家庭内の電力情報の収集や機器管理の担い手が、電力会社あるいはホームサーバ提供事業者(通信会社・家電メーカー・住宅メーカー・ICT サービス事業者・他のエネルギー関連事業者)のどちらになるのかが決まる。

また、ホームネットワークのオープン性と信頼性を両立するアーキテクチャが必須である。すなわち、家電ネットワークについては、ユー

ザーの利便性を考えて特定企業のインターフェイスとならないようにするインターフェイスのオープン化が必要であるが、システムの信頼性を維持するためには、認証など接続機器に対する一定の規律が必要となる。よって、このバランスがとれるアーキテクチャでなければならない。具体的には、ホームサーバーの API の共通化とオープン化、ホームサーバーのミドルウェアの共通化、および家電などを接続する通信インターフェイスの共通化が必要となる。

外部ネットワークへのホームネットワークの接続に関して、どのような通信方式でネットワークを構築すべきかを決めなければならない。その候補としては、電力線通信(PLC)、無線通信(3G/LTE、WiMAX・PHS・マルチホップ式通信など)、有線通信(光ファイバー・ADSL・ケーブルテレビなど)が挙げられる。その際のコストをどのように負担するのか、セキュリティをどのように守るのかも課題となる。また、この接続に関しては、どのような伝送方式でネットワークを構築すべきかも決めなければならない。これに関しては、コスト的に優位な無差別伝送型(インターネット型)と信頼性の高い特定用途優先型(伝送保証型)の選択肢がある。

## (2) 家庭内情報を活用した新サービス創出

家庭内の「エネルギー情報の見える化」によって、ユーザーに省エネルギーの意識を持たせる「見える化サービス」など、省エネ促進の新サービス創出が期待できる。例えば、家庭での電力利用モニタリングのフィードバックにより再生可能エネルギーの有効活用と系統へ

の悪影響排除を実現し、電気自動車の充電タイミングを地域として管理することにより、決められた系統容量範囲内の充電サービスを保証するような最適なエネルギーマネジメントに関する新サービス創出も考えられる。

さらに、家庭内機器の所在把握・異常検知・遠隔修理・遠隔メンテナンス・新たな製品開発への情報発信・オンデマンド宅配サービス・テレビのホームゲートウェイモニターとしての活用(行政情報の提供・オンライン行政手続き・ネットワーク・テレビ会議・近隣住民同士の情報交換)なども、新サービスの候補として挙げられている。

## (3) 家庭内情報の収集・管理・利活用に関するルールの設定

様々な恩恵を受ける半面、それにもなあって浮上する問題に対応するために、個人情報のようなセンシティブな情報を含みうる家庭内情報の収集・管理・利活用のルールの設定の必要性も指摘されている。例えば、収集・利用の目的および情報の管理者とその内容の明示・家庭内情報のユーザーへのフィードバックの義務化・情報のポータビリティの確保・ホームゲートウェイへのアクセスルール・ネットワークとホームゲートウェイのセキュリティ要件・情報の漏洩や不正入手に対する規則の整備などが、このようなルールに含まれると考えられる。

## (4) その他の意見

スマートコミュニティフォーラムで議論されたメンバーからのその他の意見の中で、ICT に関するものを参考文献<sup>15)</sup>よりまとめると、図表13のように整理できる。



図表 13 スマートコミュニティーフォーラムにおいて議論された論点

<ol style="list-style-type: none"> <li>1) スマートコミュニティーの経済性やコスト負担のあり方の検討が必要</li> <li>2) 国内展開と海外展開は異なる戦略・モデルが必要となるため、ブライオリティの明確化が重要</li> <li>3) 海外展開には、気候や文化等を背景とした現地ニーズに応じたローカライズ戦略が重要</li> <li>4) エネルギー需給の議論に終始せず、新しいサービスを創出することも視点に加えるべき</li> <li>5) 人間による制御と自然の力の有効利用をバランスさせることが重要</li> <li>6) オープン / ブラックボックス戦略がスマートグリッド海外展開の命運を左右する</li> <li>7) 配電系と基幹系が協調したスマートグリッド全体の設計が必要</li> <li>8) アジア等新興国の不安定な系統にいかん我が国の要素技術を適用できるか検討が必要</li> <li>9) スマートグリッドの整備に合わせて情報戦略・ビジネスモデルの構築を議論すべき</li> <li>10) ユーザーサイドから見て付加価値のある仕組みにすべき</li> <li>11) 官民一体となり、スマートグリッドの実証を早急に行うべき</li> <li>12) 政府には発展途上国での市場展開を見据えたグローバル展開戦略の策定を期待</li> <li>13) 各国状況（地理・歴史・ニーズ）に合わせたシステムを輸出すべき</li> <li>14) スマートメーターと宅内制御装置（ホームサーバー）のあり方を議論すべき</li> <li>15) スマートメーターの所有、設置のあり方について議論すべき</li> <li>16) 電気の用途が移動用（EV）にも広がることを踏まえ、移動用と家庭用で課金方式を変える必要性が出てくる場合にも、スマートメーターの導入は有益</li> <li>17) 家電等の制御を行う際にはセキュリティやコスト負担のあり方を整理すべき</li> <li>18) 需要家を含めたスマートグリッドには、自律的な効率の良いネットワークが必要</li> <li>19) 需要家参加型のエネルギー社会システムを構築すべき</li> <li>20) スマートコミュニティーは「自然」、「生活の場」、「エネルギー」がつながる「共」の空間を提供するまちづくりのコンセプト</li> <li>21) 家電製品等がスマートグリッドにつながることで、住宅そのものもサービスを提供する場として大きく変化する</li> <li>22) スマートメーター導入に際しては、①メーターにどこまでの機能を持たせるか？ ②アクセス網をどうするか（電力会社の自営網や公衆網の使い方）？ ③公衆網を活用する場合のオープン性（幅広い通信事業者網の活用）等が議論のポイント</li> <li>23) デマンドレスポンスにおける消費者の受容性について、需要家利益の保護の観点から、料金メニュー等ソフト面について</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>も、需要家の理解を得る必要あり</li> <li>24) スマートコミュニティー実現に向けたコスト負担や投資対効果を十分に検証することが必要</li> <li>25) スマートコミュニティー内外で顧客が受けられるサービスの内容や負担するコストの違い等について留意が必要</li> <li>26) メーターの機能高度化の際には、取り替えに必要な時間や計量機能などへの影響を考慮していく必要あり</li> <li>27) 用途別料金を設定する場合に、スマートメーターの活用について今後検討すべき</li> <li>28) スマートメーターの導入にあたっては、地域特性や設備実態等を踏まえ、事業者の公共性と自主性の両面も考慮する必要がある</li> <li>29) ホームネットワークにおいては、セキュリティの観点から、オープン系とクローズ系の情報の取り扱いの整理が必要</li> <li>30) 海外プロジェクトの進出にあたっては、アプリ層（コンテンツ）の強化を行うとともに、どのような法的制度や問題があるかの議論が必要</li> <li>31) 需要家側のメリットを十分に説明した上で、コスト負担をどのようにとらえるかが重要</li> <li>32) 需要家の観点からインセンティブや行動パターンを引き出せるような議論をすべき</li> <li>33) スマートコミュニティーの構築には既設のインフラの活用も議論にいれるべき</li> <li>34) 国際展開において、市場パターンに合致したスマートコミュニティーシステムの展開が必要</li> <li>35) 企業が海外プロジェクトへの参加にあたっては、国が政府間の協力関係を構築することが重要</li> <li>36) 環境技術と金融技術をうまく活用し、公共政策とも併せて三位一体施策として、スマートコミュニティーの推進を検討すべき</li> <li>37) 海外展開を図るための特区構想が重要</li> <li>38) 機器単体の機能向上に特化すると、日本にしか通用しないものしかできなくなるため、システムとしての検討が必要等</li> <li>39) スマートグリッド実現のためには、海外も見据え、民間の自由度を担保すべき領域をしっかりと確保したうえで、官主導の戦略フレームワークをベースに、官と民の連携が重要</li> <li>40) 標準化戦略におけるオープン / クローズの話は、パテント戦略の進め方が鍵</li> <li>41) システム標準化の話に加え、コンポーネント化も議論にいれるべき</li> <li>42) 国際標準化においては、ヨーロッパに目を向けるのも一つの選択肢となり得る</li> <li>43) いつまでに何をするかを整理した上で、時間軸で明示することが重要であり、中長期的な時間軸の中で、リスクをどのように捉え、政府との分担をどうするか議論が必要</li> </ol>
--	--

## 5 予測される今後

### 5-1

#### スマートグリッドに関連する ICT 産業の国際競争力

以上報告したように、スマートグリッドは ICT 産業にとって大きな成長のエリアであると期待できる。しかし、特に ICT の視点から言えば、日本では研究開発も事業化も具体化しているとは言いがたい。

図表 14 に、日米の技術開発投資状況の違いからみた今後の国際展

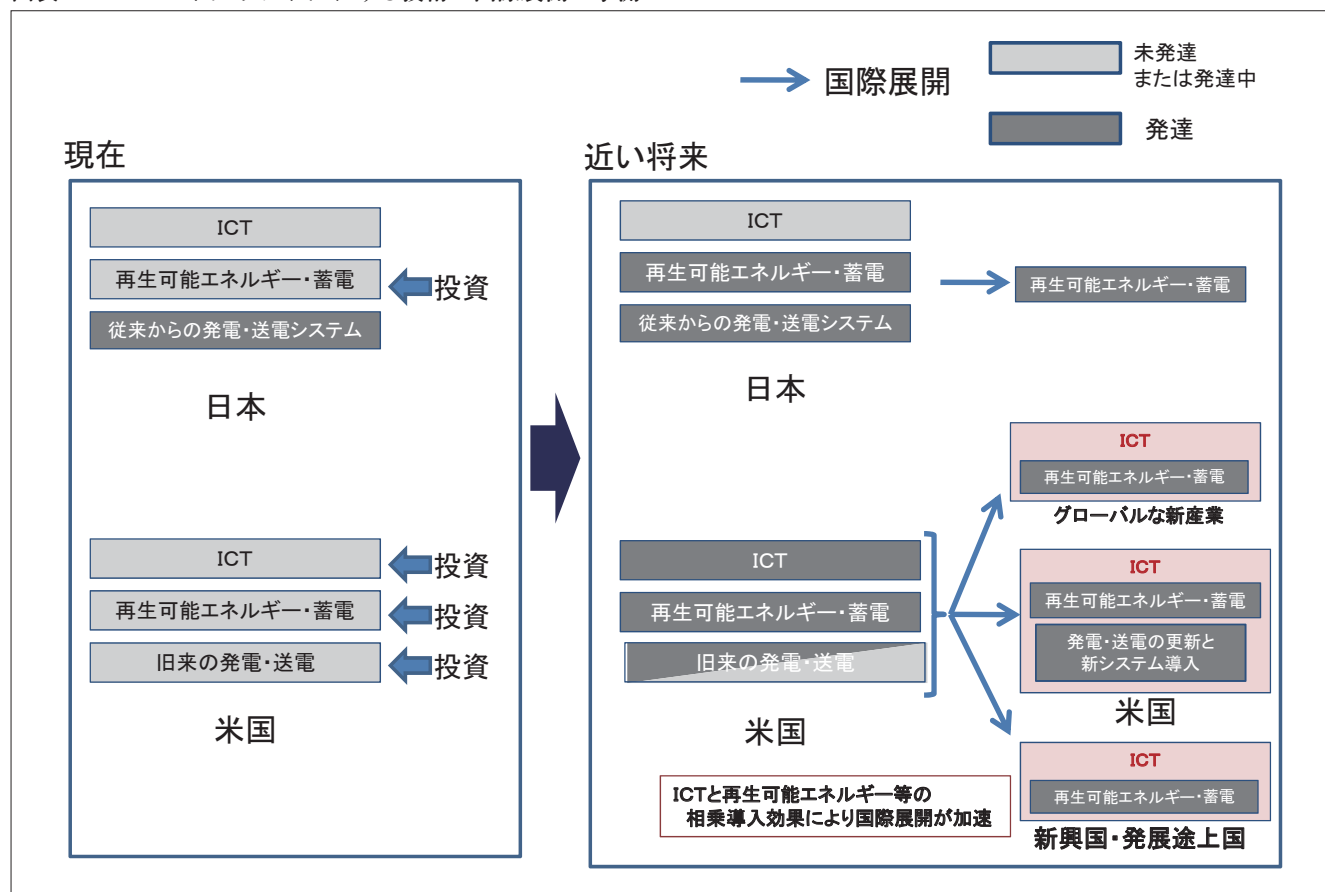
開の違いを模式的に示した。技術開発領域は、従来からの発電・送電、再生可能エネルギー、ICT の 3 つの領域に大別できる。図表 14 において領域の色の濃淡は、濃いほど発達しており、淡いほど未発達であることを示している。

米国では全ての領域に投資が行き渡っている。この結果、近い将来において、米国では ICT・再生可能エネルギー・電力系統の連携した、拡張性および相互互換性のあるシステムが発達すると考えられる。この拡張性および相互互換

性こそが他国への技術輸出を可能にするはずであるため、米国で育成された再生可能エネルギーおよび ICT が将来の国際競争力をもつ可能性は高い。

一方、現時点において日本は非常に優れた電力系統を保持しており、現在の日本の技術開発投資は主に再生可能エネルギー・蓄電に集中している。日本においては再生可能エネルギーの技術が発達し、その技術要素は国際競争力をもつかもしれない。しかし、これらは、あくまで他の上位システムに組み

図表 14 スマートグリッドにおける技術の国際展開の予測



込まれる「部品」として輸出される可能性が高い。

技術とは、全体的な構想の中でしっかりと定義され、開発されてこそ価値を高める。特に、この構想の現実世界における実現手段がICTであると言える。スマートグリッドに関して、ICTの視点からの研究開発と標準を確立する動きに乗り遅れることは、携帯電話市場などの場合と同様にスマートグリッド市場でも日本のICTが国際的に孤立する危険性をはらんでいる。

## 5-2

### 「モノのインターネット (Internet of Things)」の世界へ

前章で報告した日本のスマートコミュニティフォーラムでは、スマートグリッドの将来に関してICTの観点から以下のような指摘

もある<sup>15)</sup>。

- これまでパソコンや携帯電話に閉じていた情報ネットワークの世界が、家庭内の家電・エネルギー機器・自動車などによって構成されるホームネットワークにまで拡がり、いわゆる「モノのインターネット (Internet of Things)」の世界が誕生する。
- 要求応答(デマンドレスポンス)・太陽光発電の出力抑制・電気自動車の充電タイムシフトなどが遠隔操作で行われ、電力会社の情報制御ネットワークが各家庭までつながり、情報ネットワークとエネルギー機器の融合化が起こる(スマートハウス)。
- これにより新しい情報ネットワーク(第2のインターネット)、モノとモノ・モノとヒトをつなぐ新しい情報ネットワーク、エネルギー機器と情報ネットワークが融合化した

システムが登場する。

すなわち、RFID、IPV6などに絡んで議論されてきた「もののインターネット (Internet of Things)」の世界が、スマートグリッドの推進によって、家電・自動車なども含んだより広い範囲に拡大されることになり、「もの一人一エネルギー」が情報によって全て結ばれる新しいネットワークが出現するのである。このことは「情報化」が大衆化され、より身近なレベルで起こることとも言え、我々の社会に大きな変革が起こることが予測される。そのメリットは、家庭・社会の中に実在する身近な装置や物品の存在場所・稼働状況・資源の使用量などが全て把握でき、それらを制御可能なインフラが確立されることにより、より全体最適に近い世界を実現できることにある。一方、今まではネットワークで接続されたコンピュータ群「のみ」に存在していたセキュリティやプライバシーの問題が、クーラー・冷蔵庫・

電灯といったより身近なもののレベルでも起こる懸念もある。

例えば、IBM 社は近年の企業戦略を「スマーター・プラネット」の実現と言っている。スマーター・プラネットとは、ICT を用いて、電力・水・交通・金融・物流・医療等々に関する物理的事象や物理インフラとデジタルインフラを統合し、社会・経済のイノベーションを実現しようとする考え方である。IBM 社はスマーター・プラネットにより、省エネ・水不足・交通渋滞・金融リスク・欠品・医療連携など、社会・経済の具体的な問題を解決できるとしている。これ

は、スマートグリッドをより一般化し、拡張したコンセプトと言える。この戦略の背景にあるのは、「社会・経済の実態を動かすのはもはや「情報」そのものになっている」という認識である。デジタルインフラを実際の世界に密着させ、効率よく情報を入手・分析しアクションをとることが、「社会・経済を動かす」ということになるという、「情報化」に対する全く新しい認識がそこにあるのである。

電子計算機が誕生してから、半導体・コンピューター・ネットワークなどの驚異的な成長により発展してきた ICT は、社会・経済にお

ける実態としての価値を創出する、まさに新しいステージに突入しつつある。その具体的な挑戦領域のひとつが、スマートグリッドが対象とする世界なのである。

## 謝辞

本レポートの執筆にあたり、市川類氏(経済産業省)、村上憲郎氏、藤井宏一郎氏(グーグル株式会社)、岩野和生氏、川井秀之氏(日本アイ・ビー・エム株式会社)、芹澤善積氏(電力中央研究所)の各位に貴重なご意見、ご協力をいただきました。ここに深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 芹澤善積、「次世代スマートグリッドの展望」、SPI フォーラム一次世代パワーグリッド構想スマートグリッドの新実を拓く講演予稿集、2010 年 5 月
- 2) 市川類、米国におけるスマート・グリッドの産業構造と標準化を巡る最近の動向、ニューヨークだより、JETRO、2009 年
- 3) 市川類、米国におけるスマートグリッドを巡る最近の動向、ニューヨークだより (IPA) 2010 年 5 月臨時増刊、JETRO、2010 年
- 4) スマートエネルギー、日経 BP、2010 年 5 月 5 日
- 5) スマートエネルギー・シンポジウム 2010 Spring 資料、日経 BP
- 6) 「電気事業の今」電気事業連合会、<http://www.fepc.or.jp/present/supply/antei/index.html>
- 7) Best Source 社ホームページ <http://www.bestsources.it/bestsources/prodotti-e-servizi/analisi-risparmio-energetico>
- 8) Google 社ホームページ <http://www.google.com/powermeter/about/about.html>
- 9) 日米欧のスマートグリッド政策と標準化動向、株式会社インプレス R&D
- 10) Home page of Silver Spring Networks, <http://www.silverspringnet.com/aboutus/index.html>
- 11) 「スマートメーターの情報をリアルタイムで消費者に提供、義務化する法案が米議会に提出へ」、<http://www.nikkeibp.co.jp/article/news/20100323/216925/>
- 12) 離島独立型系統新エネルギー導入実証事業、[http://www.okiden.co.jp/shared/pdf/news\\_release/2009/090701\\_1.pdf](http://www.okiden.co.jp/shared/pdf/news_release/2009/090701_1.pdf)
- 13) 六ヶ所村スマートグリッド実証、[http://www.jwd.co.jp/pdf/news/091030\\_release.pdf](http://www.jwd.co.jp/pdf/news/091030_release.pdf)
- 14) 次世代送配電系統最適制御実証事業、[http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu10\\_j/images/100521g.pdf](http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu10_j/images/100521g.pdf)
- 15) スマートコミュニティフォーラムにおける論点と提案、経済産業省、2010 年 6 月  
<http://www.meti.go.jp/press/20100615006/20100615006-2.pdf>
- 16) 中西 美一氏、「四国電力のスマートメーター計画「OpenPLANET」、思惑通りに進まなかった理由とは」、Tech-On、<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20091012/176365/>
- 17) “WHAT THE SMART GRID MEANS TO AMERICA’S FUTURE”, U.S. Department of Energy,  
<http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia/TechnologyProviders.pdf>
- 18) NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, NIST Special Publication 1108, US Department of Commerce
- 19) Zpryme 社資料 [http://www.zpryme.com/Client/Smart\\_Grid\\_Industry\\_Trends\\_Snapshot\\_Zpryme.pdf](http://www.zpryme.com/Client/Smart_Grid_Industry_Trends_Snapshot_Zpryme.pdf)
- 20) 佐藤範之、福井潔、「Smart Energy における無線センサネットワークの活用」、OKI テクニカルレビュー、2009 年 4 月/



第214号 Vol.76 No.1、[http://www.oki.com/jp/otr/2009/n214/pdf/214\\_r16.pdf](http://www.oki.com/jp/otr/2009/n214/pdf/214_r16.pdf)

- 21) スマートグリッドを実現する 802.15.4g (SUN)の標準化動向を聞く、  
<http://wbb.forum.impressrd.jp/feature/20100113/771>
- 22) News Release, City of Miami Office of Communications, [http://www.energysmartmiami.com/files/City\\_of\\_Miami\\_News\\_Release\\_Energy\\_Smart\\_Miami\\_FINAL\\_4\\_20\\_09.pdf](http://www.energysmartmiami.com/files/City_of_Miami_News_Release_Energy_Smart_Miami_FINAL_4_20_09.pdf)
- 23) NEWS from Los Angeles Department of Water and Power, <https://www.piersystem.com/go/doc/1475/403483/>
- 24) 「米 GE、スマートグリッド技術の開発に 2 億ドルの基金創設」  
<http://jp.reuters.com/article/topNews/idJPJAPAN-16280820100714>

---

## 執筆者プロフィール



### 日高 一義

客員研究官

国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学 教授

[http://www.jaist.ac.jp/profiles/info.php?profile\\_id=00545](http://www.jaist.ac.jp/profiles/info.php?profile_id=00545)

日本アイ・ビー・エム、(株)東京基礎研究所で、最適化技術、離散アルゴリズム、数理解析技術、ビジネス・ソリューション、計算組織論などの研究、プロジェクトの指揮にあたる。IBM Research ワトソン研究所の戦略部門で勤務。応用数理学会評議員。情報処理学会会員。日本オペレーションズ・リサーチ学会会員。2009年8月より現職。博士(理学)。

# 平成 22 年版科学技術白書の 主なポイント

伊藤 裕子

科学技術・学術政策局調査調整課

## 1 はじめに

2010 年 6 月 15 日に「平成 22 年版科学技術白書(平成 21 年度科学技術の振興に関する年次報告)」<sup>1)</sup>が閣議において決定され、国会に報告された。

科学技術白書は、科学技術基本法(平成 7 年法律 130 号)第 8 条に基づき、政府が科学技術の振興に関して講じた施策について報告を行うものである。一方、文部科学白書は、非法定白書であり、文部科学省全体の施策を広く紹介するものである。共に文部科学省で作成する白書であるが位置づけが異なっている。

図表 1 に示すように、科学技術白書の第 1 部では、特に注目する観点として、焦点をあてるテーマを毎年変えている。当初は 3 部構成であったが、平成 20 年版以降、第 1 部内に従来の第 2 部「海外及び我が国の科学技術活動の状況」も含むようになった。

現在の第 2 部(従来の第 3 部である)「科学技術の振興に関して講じた施策」では、前年度に各府省が講じた科学技術に関する施策について、各府省自ら取りまとめたものを掲載している。

平成 22 年版の第 1 部は、「価値創造人材が拓く新たなフロンティア～日本再出発のための科学・技術の在

図表 1 科学技術基本法以降の科学技術白書の構成とタイトル\*( )内はページ数

発行年	第 1 部タイトル	第 2 部タイトル	第 3 部タイトル
平成 8 年	研究活動のフロントランナーをめざして	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 9 年	開かれた研究社会の創造をめざして	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 10 年	変革の時代において	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 11 年	科学技術政策の新展開－国家的・社会的な要請に応じて－	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 12 年	21 世紀を迎えるに当たって	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 13 年	我が国の科学技術の創造力	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 14 年	知による新時代の社会経済の創造に向けて	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 15 年	これからの日本に求められる科学技術人材	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 16 年	これからの科学技術と社会	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 17 年	我が国の科学技術のカー science 技術基本法 10 年とこれからの日本－	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 18 年	未来社会に向けた挑戦－少子高齢社会における科学技術の役割－	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 19 年	科学技術の振興の成果－知の創造・活用・継承－	海外及び我が国の科学技術活動の状況	科学技術の振興に関して講じた施策
平成 20 年	国際的大競争の嵐を越える科学技術の在り方 (97)	科学技術の振興に関して講じた施策 (126)	
平成 21 年	世界の大転換期を乗り越える日本発の革新的科学技術を目指して (85)	科学技術の振興に関して講じた施策 (140)	
平成 22 年	価値創造人材が拓く新たなフロンティア－日本再出発のための科学・技術の在り方－ (99)	科学技術の振興に関して講じた施策 (124)	

出典：文部科学省ホームページ<sup>2)</sup>

り方～」に焦点をあてている。

「価値創造人材」とは造語であり、「新たな価値を創出するために欠かさない人材を意味し、研究者・技術者のみならず、大学、研究機関、民間企業、行政組織等におけるマネジメント人材、知財関係人材、産学官連携人材や、次代を担う人材を育成する理数教員などの多様な人材を含む」と定義した。

我が国では、地球環境問題などの

地球規模での脅威、少子化・高齢化等の経済社会を巡る問題など、解決に向けて取り組むべき課題が山積している。このような厳しい状況の中で、我が国がイノベーションの創出と新たな価値を創造し続けるためには、様々な分野で活躍する人材の一人一人が、今まで以上に創造性・生産性を高めることが求められ、これらの価値創造人材が活躍できる社会を構築していくことが重要である。

このような状況を踏まえて、今年度版の第1部では、第1章に課題解決に貢献する科学・技術および基礎科学力の強化、第2章に人材の育成や研究環境の整備およびイノベーションを創出する場の形成、第3章に社会や国民と科学・技術の在り方等を取り上げ、全体として、我が国

には人材にかかわる様々な問題が存在し、それらを解決していく必要があることを述べている。

なお、従来「科学技術」と表記していた「科学」および「技術」を総称する用語は、法令名などを除いて、今回初めて「科学・技術」と表記された。これは、「新成長戦略(基本方針) (平

成21年12月閣議決定)」など、政府部内での文書中の表記に合わせたものである。

以下に、今回の白書が焦点をあてた第1部の主なポイントを章ごとに概説する。

## 2 第1部の主なポイント

### 2-1

#### 「第1章 未来を切り拓き課題解決に貢献する科学・技術」におけるポイント

第1章では、まず、科学技術政策の背景として、我が国を取り巻く世界の状況を述べている。

地球環境問題など我が国を巡る状況は厳しく、社会・国民からの要望に応えるために、知の源泉となる基礎研究と課題解決に貢献する研究開発(地球温暖化対策技術、国民の健康に資する科学・技術、社会の安全・安心に資する科学・技術)

の推進およびイノベーションの創出が重要であり、我が国や人類の未来を切り拓いていく姿勢を明確にすることが必要である。

#### (1) 低炭素型社会の実現に貢献する科学・技術の推進

(地球温暖化問題の解決を目指す研究開発の状況)

世界各国で地球温暖化への対応を進め、低炭素型の社会を実現しようとする動きは活発化しており、国連環境計画(UNEP)によると、世界の環境関連ビジネス市場の規模は、2005年に約1.0兆ユーロ(約150兆円)であったのが、2020年には2倍を超える約2.2兆ユーロ(約

300兆円)に拡大していくことが予測される。

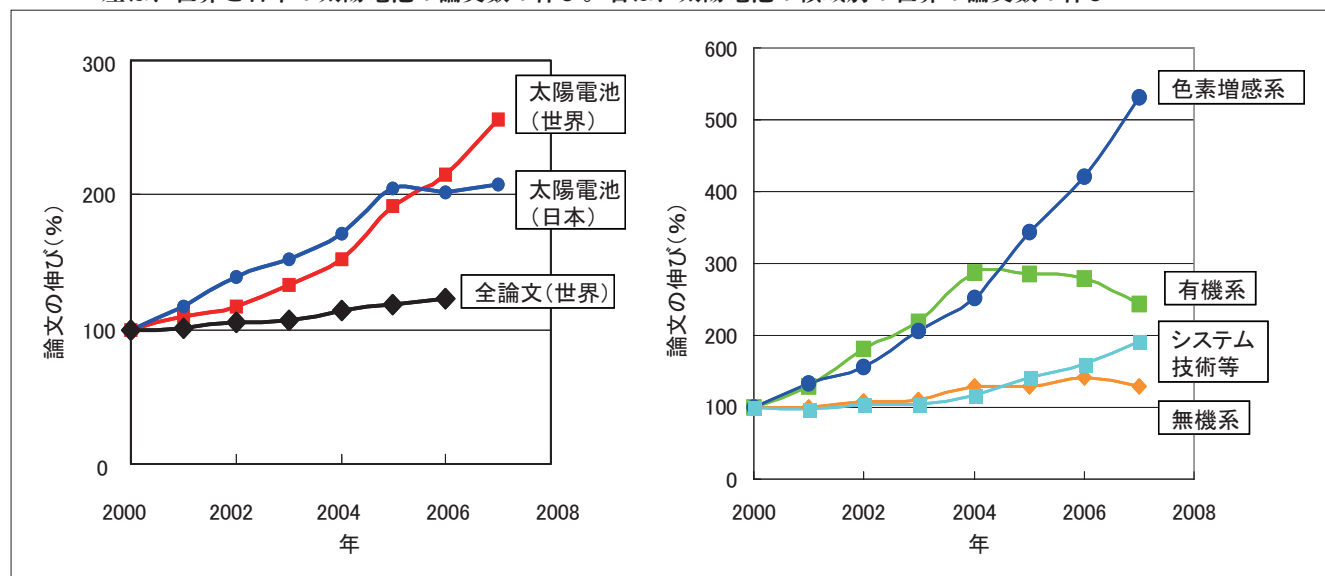
研究開発面においては、世界各国で地球温暖化対策技術に関する取組が活発化し、例えば、太陽電池や燃料電池発電システムに関連する論文数は、近年、世界および我が国とも伸びている(図表2)。また、次世代技術として期待されている色素増感系の太陽電池に関する論文数が大きく伸びており、これらの研究開発が活発化している。

以下は、地球温暖化対策技術の研究開発等の事例。

- 温室効果ガス排出量の緩和技術(次世代太陽電池の研究開発、バイオマスエネルギー技術、蓄電技術の研究開発、

図表2 太陽電池関連論文の世界および日本の論文の伸び

左は、世界と日本の太陽電池の論文数の伸び。右は、太陽電池の領域別の世界の論文数の伸び



出典：東京大学イノベーション政策研究センター資料を基に文部科学省にて作成



燃料電池発電システムの研究開発、スマートグリッド技術、二酸化炭素回収・貯留技術)

- 地球温暖化への適応技術と環境予測・観測技術
- 諸外国の温暖化問題解決に資する国際共同研究

## (低炭素型社会の実現に向けた知の統合)

地球温暖化対策技術の研究開発を推進するためには、一人でも多くの優れた研究者、特に基礎科学者が、低炭素型社会の実現や地球温暖化問題に関心を持ち、その解決に向けて積極的に参加することが期待される。低炭素型社会の実現を目指すという目標を共有し、関連性の高い研究分野はもちろんのこと、自然科学と人文・社会科学のような全くの異分野も含む多様な研究者が参画する総合的な取組を推進するとともに、複数の分野にわたる研究者間、研究機関間の円滑な連携やネットワーク化を促進することが重要である。

## (2) 安全で質の高い国民生活に貢献する科学・技術の推進

国民が健康で質の高い生活を享受できるようにするためには、医療・介護・健康関連の科学・技術を基にした産業を我が国のけん引産業と位置づけて、革新的な医薬品や医療・介護技術の創出に資する研究開発とイノベーションを推進し、我が国の更なる成長を促すことが必要である。

このような分野の研究開発は、安全で質の高い国民生活の基盤実現に向けて重要な役割を有するものの、産業化に結びつけるためには多大な時間と労力を要するものや、短期的な成果が得にくいものが多く、国が積極的に推進していく必要がある。

## (国民の健康に資する科学・技術)

生命機能や疾患の原因・病態の解明等の基礎研究から新しい医薬品・医療機器や医療・介護技術の研究開発までの挑戦的な研究開発が、ライフサイエンス以外の多くの分野を含めて幅広く推進されている。

以下は、研究開発等の事例。

- 生体の理解を深め、将来の治療法開発につながる研究
  - ・ 生体の病原体認識(自然免疫)のメカニズムの解明
  - ・ 遺伝子改変霊長類を用いた疾患研究や医薬品・医療技術開発
- 心疾患、がん、認知症などの治療に資する革新的医療技術に関する研究
  - ・ iPS 細胞等を用いた再生医療の実現の研究開発
  - ・ 革新的な組織工学(ティッシュ・エンジニアリング)を応用した再生医療
  - ・ 新しいがん薬物治療～ペプチドワクチン療法の開発
  - ・ 認知機能障害の原因解明の研究
- 新しい医療機器や人へのサービス支援につながる研究開発
  - ・ 悪性腫瘍を自動的に追尾して治療する放射線治療装置の研究開発
  - ・ 生活を支えるサービスロボット
- 人文・社会科学を含めた異分野連携による健康科学への取組
  - ・ 学際的な高齢社会研究に取り組む研究教育拠点
  - ・ 産学連携による政策提言「シルバーニューディール」

- ・ 地域との連携で取り組む健康増進

## (社会の安全・安心に資する科学・技術)

国民が安心して安全に生活できる社会の構築に向けて、生活に甚大な影響を及ぼすと考えられる事柄について、その発生を予防し、たとえ発生を防げなかったとしても、被害を最小限にするような対策を事前に整えておくことが必要である。

以下は、研究開発等の事例。

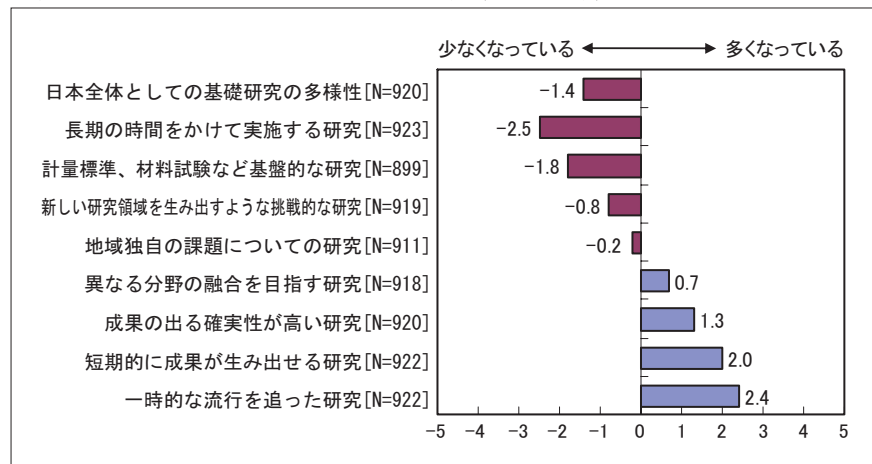
- 自然災害の防災・減災に関する科学・技術
- 食料安定確保のための科学・技術～養殖技術～
- テロなどの危険を察知する科学・技術
- 海外と連携して進める新興・再興感染症への対策
- 世界の水問題を解決するための科学・技術

## (3) 基礎科学力の強化 (基礎研究の重要性)

基礎研究は人類の英知を生み知の源泉となり、さらに、イノベーションの源泉となる知識を創出する。第3期科学技術基本計画において、研究者の自由な発想に基づく研究については、萌芽段階からの多様な研究や時流に流されない普遍的な知の探求を長期的視点の下で推進するとされ、基盤的経費や科学研究費補助金等によって研究が推進されてきた。

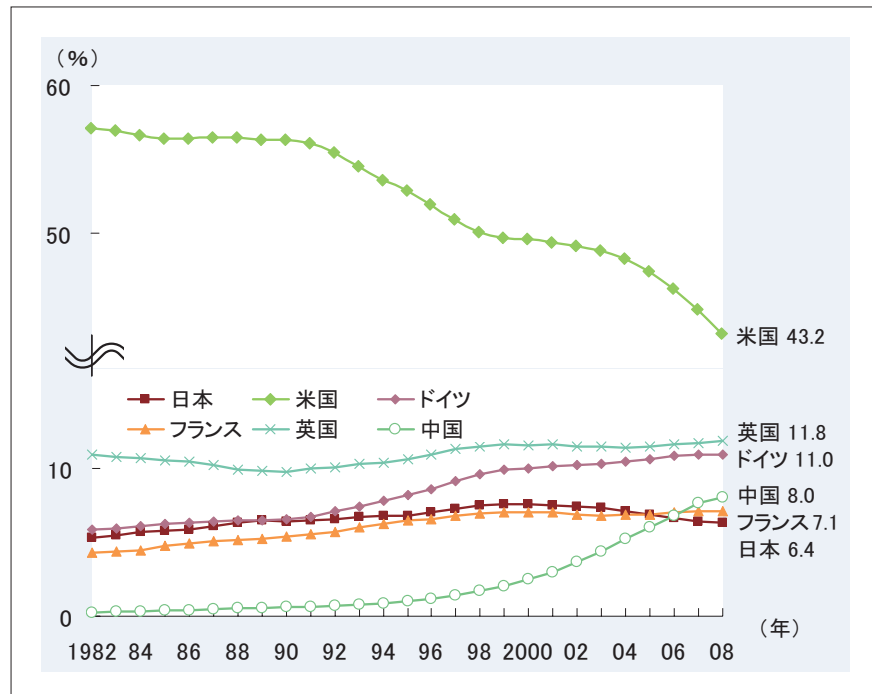
しかし、図表3の調査では、2001年(平成13年)ごろと比べて、「日本全体としての基礎研究の多様性」が減少しているとの認識が示された。基盤的経費による研究資金の減少が、世界トップレベルの成果を生む可能性の高い若年者の独創的かつ創造的研究を阻害する可能性があるとの意見も、同調査において挙げられた。

図表3 基礎研究の多様性の状況 [2001年(平成13年)ごろとの比較]



出典：科学技術政策研究所「科学技術の状況に係る総合的意識調査（定点調査2009）総合報告書」を基に文部科学省にて作成

図表4 主要国等におけるトップ10論文数シェアの推移



出典：科学技術動向研究センターにて作成

野で上位10%に入る論文)の数は、1988年(昭和63年)から2008年(平成20年)までの20年間で3,470件から5,283件と増加した。一方、トップ10%論文数の世界シェアを見ると、1990年代後半以降、中国におけるトップ10%論文数のシェアが飛躍的に増加し、我が国や米国のトップ10%論文数のシェアは減少した(図表4)。

## 2-2

### 「第2章 人を活かし知をつなぐ科学・技術システム」におけるポイント

第1章で示した国際的な科学・技術の進展状況と我が国のポジションを踏まえ、第2章では我が国の人材の現状や研究環境およびイノベーション創出の状況を分析し、どのような人材や環境が必要であるかについて述べている。

基礎科学力を強化し、課題解決に貢献する科学・技術によるイノベーションを創出するには、研究者・技術者にとどまらず、幅広い科学・技術活動を担う「価値創造人材」の育成・確保が不可欠であり、このような多様な人材が社会の多様な場で活躍することが期待される。

(我が国の基礎科学力の強化に向けて)

文部科学省では、有識者から成る「基礎科学力強化委員会」において我が国の基礎科学力強化に向けた集中的な議論を進め、平成21年8月に「基礎科学力強化に向けた提言」を取りまとめた。今後、我が国の大学や研究機関の教育・研究力を世界トップレベルまで引き上げ、「科学技術の力で世界をリードする」ことを目指し、基礎研究への投資や研究基盤の整備、人材育成等の取組等を科学・技術システムと

して一体的に進めていく。

#### (4) 論文成果に見る我が国の状況

論文数や被引用回数等の論文にかかわる指標は、それぞれ長所や短所、限界があるため、解釈に当たって注意が必要であるが、これらの指標は我が国の科学・技術水準の一つの側面を示すものとして、科学・技術システムの現状を把握するための基礎的な情報である。

我が国の全分野におけるトップ10%論文(論文の被引用回数が各分

#### (1) 価値創造人材の育成に向けて

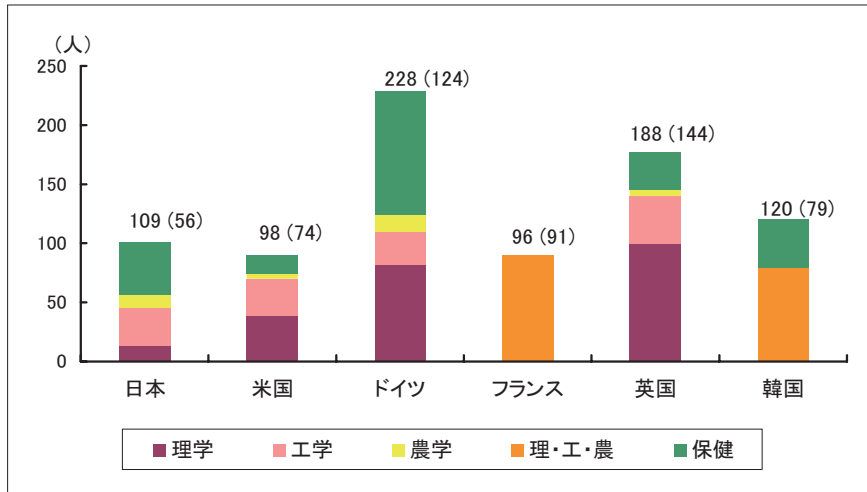
##### ① 人材の育成と活躍の促進

(博士号取得者のキャリアパスの現状と課題)

社会の求める新たな価値を創造できる人材の必要性は高まっている。このような人材として、博士号取得者の活躍が期待される。

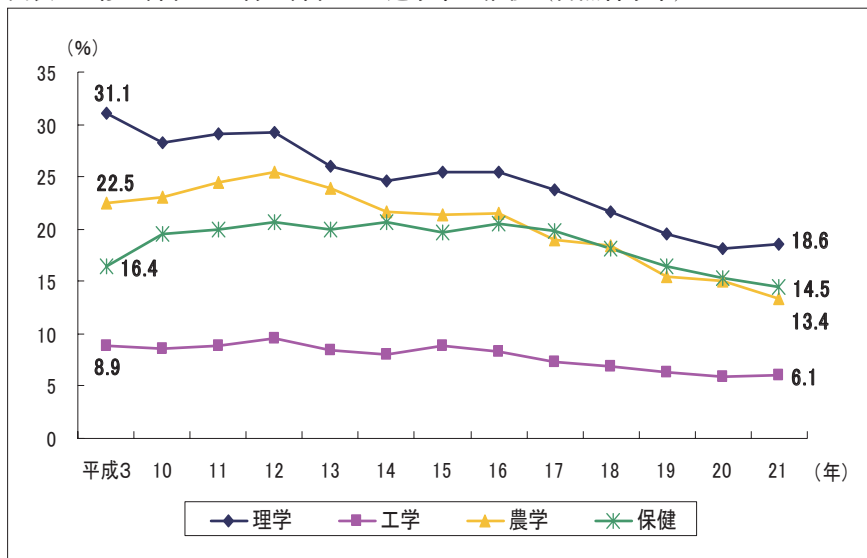
自然科学系の博士号取得者数を人口100万人当たりで比較すると、我が国はドイツおよび英国に大きく及ばず、韓国よりも少ない(図表5)。

図表 5 主要国における人口 100 万人当たりの自然科学系の博士号取得者数 (2005 年)



出典：博士号取得者数については、文部科学省「教育指標の国際比較」（平成 20、21 年版）、人口については、OECD “Main Science and Technology Indicators Vol. 2009/2” を基に文部科学省にて作成

図表 6 修士課程から博士課程への進学率の推移（自然科学系）



出典：文部科学省「学校基本調査」を基に作成

我が国の自然科学系の博士課程入学者数の推移を見ると、平成 3 年以降の大学院重点化に伴って増加していたが、平成 15 年の 13,190 人をピークとして平成 21 年には 11,348 人に低下した。また、修士課程から博士課程への進学率の推移をみると、近年低下傾向にあり、特に、理学および農学分野の低下が著しい(図表 6)。

自然科学系の博士課程修了者数および大学教員採用者数の推移や、大学教員の年齢構成の推移を見ると、平成 9 年度以降、博士課程修了者数が大学教員採用者数を上回っ

ていること、ポストドクター等の人数は増加傾向<sup>3)</sup>にあるのに対して 37 歳以下の若手大学教員割合は減少傾向にあることがあり、このため、近年、「博士課程からポストドクターを経て大学教員」というアカデミック・キャリアパスを歩むことが困難な状況となっている。

#### (博士号取得者のキャリアパスの多様化に向けて)

民間企業は大学等と並んで主要な就職先である。自然科学系の博士課程修了者全体に占める民間企業への就職割合を算出すると約

16% である<sup>4)</sup>。我が国の民間企業における博士課程修了者の採用実績を見ると、「毎年必ず採用している」および「ほぼ毎年採用している」と答えた企業の割合が 10% 程度と低い水準で推移しており、博士課程修了者の採用に消極的な態度がうかがえる<sup>5)</sup>。また、民間企業の研究者に占める博士号保有者の割合は 4% (平成 21 年) と少ない。

博士号取得者の新たな活躍が期待される人材としては、科学・技術と産業や社会一般を媒介する人材(知財関係人材、産学官連携コーディネータ、科学・技術コミュニケーター等)、高度な科学・技術をマネジメントできる人材(技術経営人材、プログラム・オフィサー、競争的資金の申請・管理の面から研究支援を行うリサーチ・アドミニストレータ等)、さらに中学校や高等学校の理科教員、国家公務員等の行政職などである。社会の側も、博士号取得者が多様な場で活躍できるような環境を積極的に形成していくことが求められる。

#### ② 創造的な研究環境の整備 (研究時間の状況)

大学教員についてフルタイム換算(FTE, Full Time Equivalent) 係数の変化を見ると(図表 7)、平成 13 年度から平成 19 年度の 6 年間に、総職務時間を 1 とした時の研究活動時間が全分野平均で低下している。平成 13 年度と比べると、自然科学系も人文・社会学系も、総職務時間の長さはあまり変わっていないが、研究活動時間が減り、一方で、教育活動時間および社会サービス活動時間が増えている。分野別に見ると、研究活動時間は理学が一番長く、教育活動時間は工学が長い。

今後、研究者が限られた研究活動時間を効果的・効率的に利用し、より優れた研究成果を上げられるよう、研究開発支援・運営機能の充実など研究環境を整備することが不可欠である。



## （研究資金の状況）

主要国等の研究費の推移を見ると、中国や米国が伸びている一方で、我が国の研究費は、研究費の約8割を負担している民間企業等の研究費の減少により、平成20年度(2008年度)に9年振りに減少した(図表8)。研究費の対国内総生産(GDP)比は3.8%、政府負担研究

費の対GDP比は0.68%となった。

## (2) 知をつなぎイノベーションを創出する場の形成

### ① イノベーション活動の状況 (企業におけるイノベーション活動の状況)

我が国は、出願人の国籍別の特

許出願数は、2005年以降減少傾向にあるものの、世界1位(2008年)を維持しており、特許登録数においても世界1位である<sup>6)</sup>。

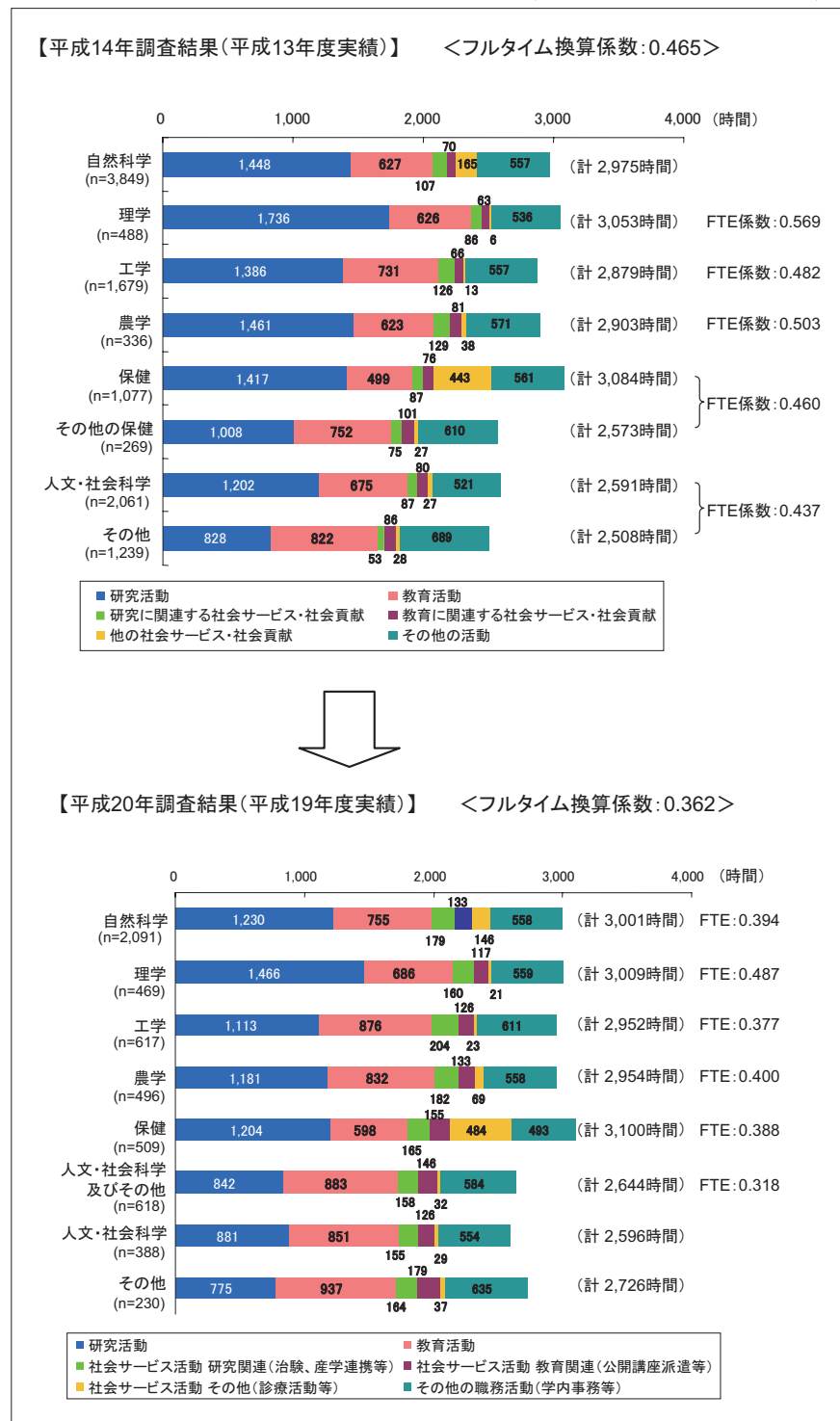
ハイテク製品(航空宇宙、電子機器、事務機器・電子計算機、医薬品、医用・精密・光学機器)は、その原理や製造過程において高度な科学・技術が活用され、製品自体も社会生活に影響を与えてイノベーションを創出するなどから、高付加価値製品である。ハイテク製品の輸出における主要国の世界シェアの推移(2000年から2008年)をみると、中国はシェアを激増させて、大きな存在感を示しつつあるが、英国・米国・日本はともに大幅にシェアを下げた(図表9)。

イノベーションは「新製品あるいは新サービスの市場への投入であるプロダクト・イノベーション」と「製品・サービスの製造・物流等にかかわる新プロセスの導入または既存プロセスの改良であるプロセス・イノベーション」に分けられる。我が国の企業のイノベーション活動の状況についての調査(図表10)では、回答した内の半数近くの企業が、平成18年度から平成20年度の3年間に自社において、プロダクト・イノベーションあるいはプロセス・イノベーションを実現したと回答した。また、イノベーションを実現したと回答した企業2,201社において、「技術に関するノウハウの不足」、「能力のある従業員の不足」をイノベーションの阻害要因として挙げる企業の割合が高かった。企業におけるイノベーション活動において、高度な知識・情報や技能をもつ人材の充実が重要である。

### (産学連携の状況)

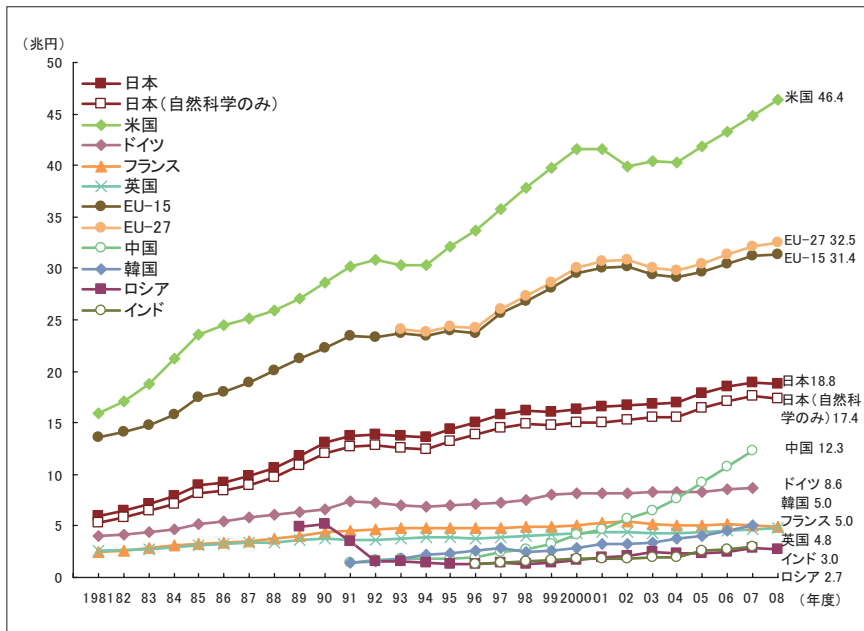
企業の自己負担研究費の総額は平成20年度には14.5兆円であり、その内、大学や他の企業など社外に支出する自己負担の研究費は2.2兆円に達した。

図表7 大学教員の総職務時間と活動内容の変化(平成13年度→平成19年度)



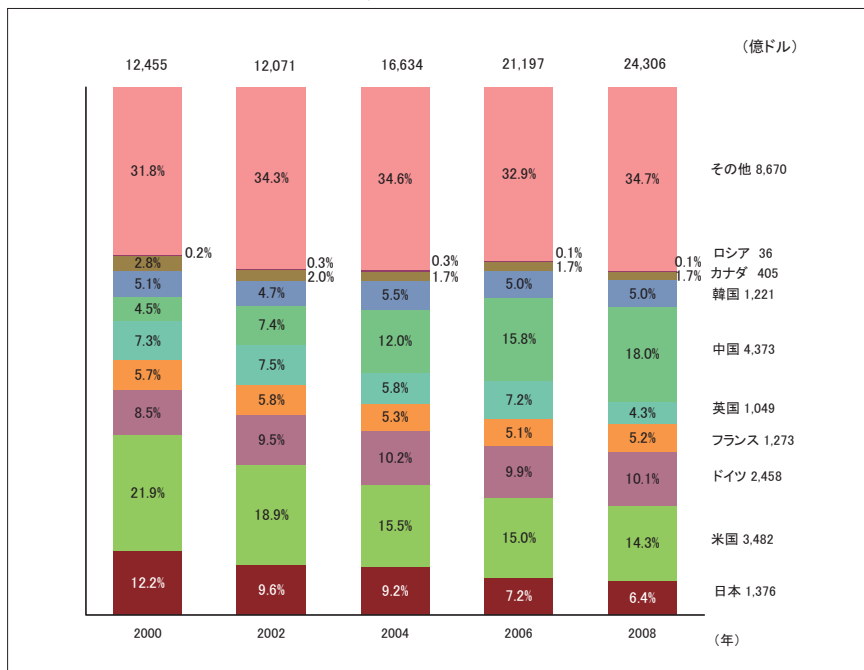
出典：文部科学省「大学等におけるフルタイム換算データに関する調査」(平成21年9月)

図表 8 主要国等の研究費の推移（購買力平価換算）



出典：日本：総務省統計局「科学技術研究調査報告」、EU: Eurostat database、インド：(研究費) UNESCO Institute for Statistics S&T database および(購買力平価) The World Bank “World Development Indicators CD-ROM-2009”、その他の国：OECD “Main Science and Technology Indicators Vol. 2009/2”、OECD 購買力平価：OECD “Main Science and Technology Indicators Vol. 2009/2”

図表 9 ハイテク製品の輸出額の各国シェア



出典：OECD “Main Science and Technology Indicators Vol. 2009/2”

国公立大学における民間企業等との共同研究および受託研究の件数は、平成 13 年度以降増加傾向が続いており、金額においても共同研究と受託研究ともに増加している<sup>7)</sup>。

大学発ベンチャーは、図表 11 の調査によると、平成 20 年度末時点

で企業活動を営んでいる大学発ベンチャーの数は 1,809 社であり、ここ十数年で各年の設立数は急激に増加したが、平成 17 年度あたりから減少した。

(イノベーションシステムの課題と取組)

図表 12 の調査によると、企業との共同研究・受託研究において、大学側が重視する活動が平成 15 年から平成 20 年で変化しており、平成 20 年で重視する活動として大幅に増加しているのは、「産学のニーズとシーズのマッチング活動」、「企業ニーズの把握」であった。

近年、異分野や異なる組織の専門家などがネットワークを形成し、様々な専門知識を連携させて共通の課題に取り組み、新たな方法論やブレークスルーを創出するイノベーションのプラットフォーム(知のプラットフォーム)を創設して、産学官(産業・大学・研究開発型独立行政法人等)の協働により戦略を検討して研究開発を推進する動きが出ている(例：世界的なナノテクノロジーの研究拠点「つくばイノベーションアリーナ」)。

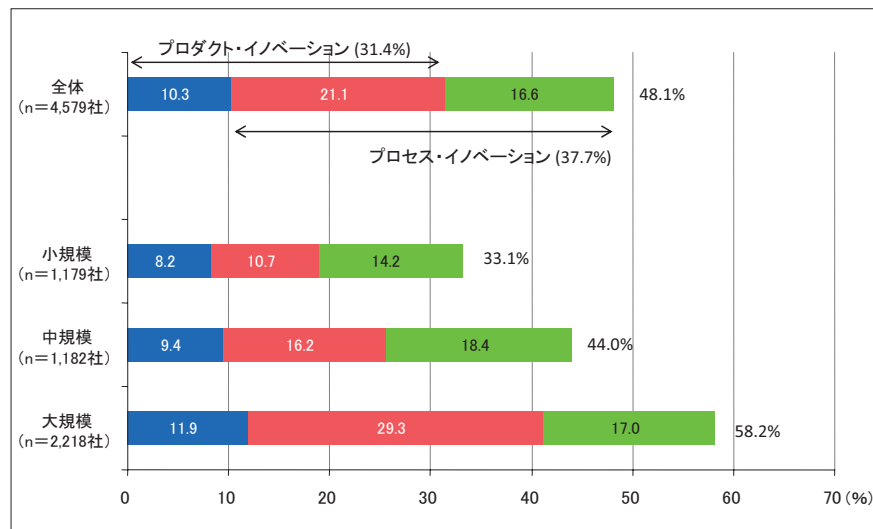
また、研究開発に関連する基本情報(研究者、大学および公的研究機関、論文、特許、研究課題、科学技術用語など)を相互に関連づけてつなげ、異分野の知や意外な発見などを支援する新しいサービスである J-GLOBAL (科学技術振興機構：平成 21 年度から運用)のような情報のネットワーク化は、誰もが簡便に情報を得られるので、新たな産学連携や異分野連携の形成を促すと期待される。

## ② 研究開発法人に係る新たな制度

研究開発法人は、民間企業や大学と並ぶ主要な研究開発実施機関であり、平成 20 年に施行された「研究開発力強化法」において定義された 38 法人(平成 22 年 4 月現在)である。

研究開発法人の制度の在り方については、研究開発の特殊性、優れた人材の獲得、国際競争力の確保等の観点から、平成 23 年 10 月までに必要な措置を講じることとされ、現在関係各府省による検討が進められている。中間報告<sup>8)</sup>に

図表 10 イノベーションを実現した企業の割合



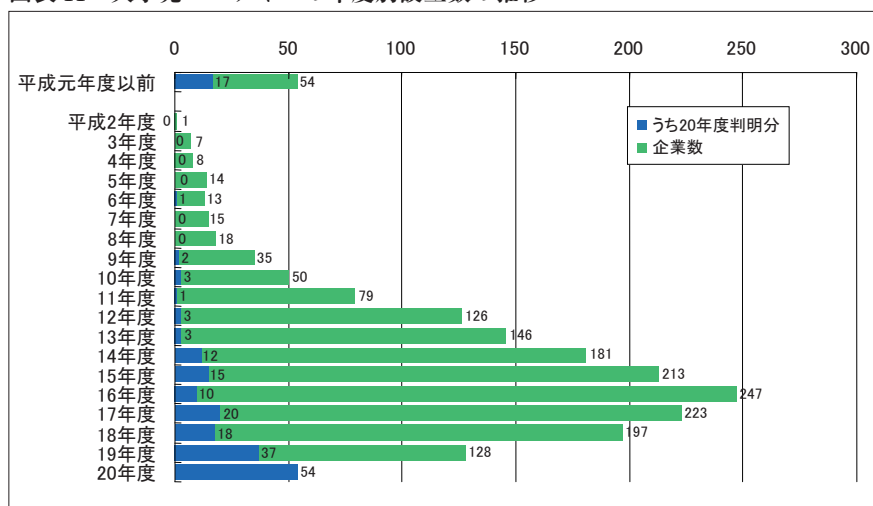
出典：科学技術政策研究所「第2回全国イノベーション調査」

において、「国立研究開発機関」(仮称)制度の創設、研究開発の特性に応じた予算執行の柔軟化、府省を超えた取組の推進等によるマネジメント改革、グローバルな視点を取り入れた評価の実施等によるガバナンス(統治)改革などが提言された。

## 2-3

### 「第3章 社会・国民とともにある科学・技術」におけるポイント

図表 11 大学発ベンチャーの年度別設立数の推移

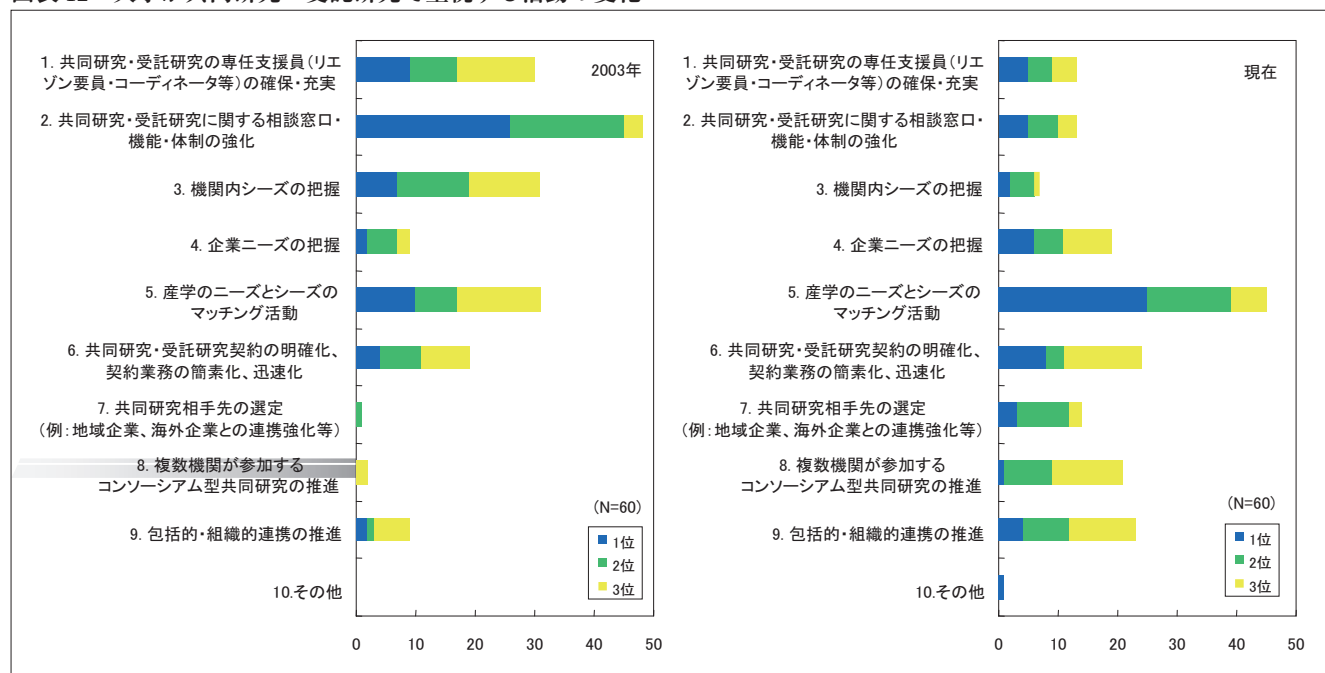


出典：平成20年度経済産業省委託調査「大学発ベンチャーに関する基礎調査」実施報告書(日本経済研究所)

第3章では、第1章および第2章で示したように科学・技術をさらに発展させていくためには、今後、国民の科学・技術への理解と参画が一層必要となることを述べている。

科学・技術と社会の関係はより深化し、国民の意見の政策や研究等への反映が求められている中、研究者と国民対話の活動が進展。政権交代以降は、予算編成プロセスの重点化・効率化等や政策形成

図表 12 大学が共同研究・受託研究で重視する活動の変化



出典：科学技術政策研究所「イノベーションシステムに関する調査 第1部産学官連携と知的財産の創出・活用」(平成21年)



過程の透明性確保などの新しい取組が推進されている。

### (1) 科学・技術への理解と共感の醸成

アウトリーチ活動(研究者等と国民が互いに対話しながら、国民のニーズを研究者等が共有するための双方向コミュニケーション活動)は、第3期科学技術基本計画で推進することが定められ、近年、数多く行われるようになった。今後、大学等には、アウトリーチ活動の普及・定着を図るために、組織的な取組の推進と専門人材の育成・確保等の取組を進めることが求められる。

科学館や博物館等は、科学・技術の分かりやすい解説や標本資料の展示、講演や企画展の開催、実際に体験や観察ができる場を提供する学習支援活動などにより、従来から、科学・技術コミュニケーション活動の中核的な役割を担って来た。今後も、これらの活動に従事する人材の育成やボランティア活動の支援に対する充実が求められる。

### (2) 科学・技術政策の新たな展開

(科学・技術についての議論の高まり)

平成 21 年 11 月、行政刷新会議の事業仕分けが行われ、科学・技術の分野においても対象になった多くの事業において、事業の見直しや予算の縮減などの評決が成された。この結果に対して、関係学会など、多方面から大きな反響があった。文部科学省では、事業仕分けを契機として、国民の声を予算編成に活かしていくために、事業仕分けの対象となった事業について意見募集を行い(平成 21 年 11 月 16 日～12 月 15 日)、科学・技術分野について約 2 万通の意見が寄せられた。

このように政権交代以降、優先度判定等におけるパブリックコメント等の新たな取組や事業仕分けを通じ、科学・技術の振興の在り方を改めて見直しつつ、透明化を図り、科学・技術政策をより効果的・効率的に推進することとなった。

### (新たな科学・技術政策への展開)

文部科学省科学技術・学術審議会基本計画特別委員会は、今後の我が国の科学・技術政策を、単に科学・技術の振興自体を目的とするものにとどまらず、社会や国民からの要請を踏まえ、豊かな国民生活や人類社会の実現に向け、科学・技術の知見を新たな価値の創出に結びつけるための「社会・公共政策」の主要な 1 つと位置づけとした。さらに、社会ニーズ等に基づき設定した重要政策課題を解決するための取組を促進する観点から、科学・技術政策と科学・技術に関連するイノベーションのための政策を組み合わせた総合政策への転換を図ることが不可欠であるという方向性を示した<sup>9)</sup>。

諸外国では、イノベーションの創出までを視野に入れた包括的な政策(科学・技術・イノベーション政策)が重視され、そのための指標や評価手法の開発、統計の体系的な整備といった科学・技術・イノベーション政策の科学が進められている。

## 3 おわりに

近年、世界的に、国の経済成長や国民生活の豊かさの確保において、科学・技術が果たす役割は大きいと考えられるようになり、その認識の向上と共に、科学・技術政策の重要性も上昇してきている。科学・技術政策は、今後、科学・

技術・イノベーション政策となり、新たな枠組みの下で新展開を見せると考えられる。

なお、平成 22 年版科学技術白書は、平成 21 年 9 月の政権交代による新政権の下で初めて作成された白書であることを反映し、新政権

による科学・技術政策の最新動向(行政刷新会議による事業仕分け、研究開発法人に係る新制度の創設など)や今後の展望についても触れている。

## 参考文献

- 1) 平成 22 年版科学技術白書(文部科学省)  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/hpaa201001/1294965.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa201001/1294965.htm)
- 2) 科学技術白書(文部科学省)  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/kagaku.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/kagaku.htm)

- 3) 科学技術政策研究所「ポストドクター等の雇用状況・博士課程在籍者への経済的支援状況調査」(平成 22 年 3 月)
- 4) 科学技術政策研究所「我が国の博士課程修了者の進路動向調査」(平成 21 年 3 月)
- 5) 文部科学省「平成 19 年度民間企業の研究活動に関する調査報告」
- 6) WIPO Statistics Database, December 2009, Patent applications by patent office and country of origin (1995–2008)
- 7) 文部科学省「平成 20 年度大学等における産学連携等実施状況調査」
- 8) 文部科学省「研究開発を担う法人の機能強化検討チーム中間報告」(平成 22 年 4 月)
- 9) 文部科学省科学技術・学術審議会基本計画特別委員会「我が国の中長期を展望した科学技術の総合戦略に向けて」(平成 21 年 12 月)

---

## 執筆者プロフィール

---



### 伊藤 裕子

文部科学省科学技術・学術政策局 調査調整課専門官  
<http://www.mext.go.jp>

科学技術政策研究所 主任研究官。薬学博士。主な研究テーマは、「ライフサイエンスの研究成果の社会還元に関する調査研究」、「基礎研究の発展過程に影響する要因分析」等。2009 年 7 月より、文部科学省科学技術・学術政策局調査調整課に併任出向中。